AMPLIFICATOARE Rotative

SUB REDACȚIA LUI M. G. SAY

EDITURA TEHNICA

Scanned with OKEN Scanner

AMPLIFICATOARE ROTATIVE

Amplidina, Metadyna, Magniconul şi Magnàvoltul şi folosirea lor în sisteme de control

Achiziţie
- 13 Oct. 1958
Bucureşti

Sub redacţia lui
M. G. SAY, Ph. D., M. Sc., M. I. E. E.

Colectivul de autori
B. ADKINS, M A., M. I E. E., A. M. I. C. E.
A. W. BLACKHURST
E. A. BINNEY
K. F. RABY, M. A.
A. L. WHITELEY, D. Sc, M. I. E. E.

Traducere din limba engleză

EDITURA TEHNICĂ
BUCUREŞTI, 1958

Scanned with OKEN Scanner

PREFAȚĂ

Anumite procese industriale, controlul și o bună funcționare a mașinilor necesită o precizie a caracteristicilor care nu poate fi obținută cu mijloacele obișnuite. Reglarea directă de către om este imposibilă din cauza oboselii, a vitezei de variație, a necesității unei atenții încordate și continue, cum și datorită condițiilor de lucru necorespunzătoare — temperatură, fum, radiații și solicitare nervoasă. În aceste cazuri, un control automat al procesului sau un servomecanism vor prezenta de obicei, soluția optimă, deoarece aceste instalații sînt astfel concepute încît o abatere de la funcționarea precisă este autocompensată.

O trăsătură caracteristică a reglajului automat constă în utilizarea unui amplificator cu ajutorul căruia abateri mici pot să ducă la dezvoltarea unei puteri de compensare mari. Un amplificator electronic obișnuit poate îndeplini și el această funcție însă nu este cel mai indicat pentru dezvoltarea directă a unei puteri mari în curent continuu.

În ultimii ani, s-a făcut un progres considerabil în dezvoltarea și folosirea tipurilor speciale de generatoare de curent continuu capabile de a efectua în esență aceeași funcție într-un sistem de reglare ca orice alt tip de amplificator. Aceste mașini amplificatoare rotative au o putere foarte mică de excitație, în raport cu puterea dezvoltată și o viteză mare de răspuns la variațiile mărimilor din circuitele de excitație.

Amplificatoarele rotative s-au dovedit a fi indicate pentru a realiza un reglaj continuu și precis al tensiunii sau curentului dezvoltate la ieșire de către un generator, al vitezei sau cuplului motoarelor, sau al poziției unui element izolat al unei instalații.

Dintre numeroasele procese sau instalații la care s-a aplicat un asemenea tip de reglaj sînt: laminoarele, centralele electrice, cuptoarele cu arc, fabricile de hîrtie, procesele electrochimice, propulsiile disel-electrice ale vapoarelor, ventilatoarele de mină, dirijarea tunurilor etc.

Scanned with OKEN Scanner

În această carte sînt descrise principiile de funcționare, construcția, încercarea și întreținerea a patru tipuri de amplificatoare rotative, principiile sistemelor de reglaj și diverse aplicații.

Fiecare dintre cei cinci autori tratează acele aspecte ale subiectului, în care el este specializat. Menționăm de asemenea că aceasta este prima lucrare care își propune să analizeze împreună cele patru mașini.

M. G. S.

Scanned with OKEN Scanner

INTRODUCERE

Cuvintele *amplidină* şi *metadină* sînt termeni comerciali care s-au impus şi sînt folosiţi pentru un tip special de generator de curent continuu, cunoscut sub denumirea de *generator cu cîmp transversal.* Aceste maşini se caracterizează prin prezenţa unor perii colectoare suplimentare pe axa „cîmpului transversal" aşezate la mijlocul distanţei dintre periile principale; aceste maşini au proprietatea specială de a necesita un curent de excitaţie mult mai redus decît o maşină de curent continuu obişnuită. Datorită acestei însuşiri ele sînt foarte indicate pentru sistemele de reglare.

În această carte mai sînt prezentate alte două tipuri de maşini care servesc pentru acelaşi scop. Denumirile lor comerciale sînt *magnicon* şi *magnavolt.* Magniconul este, ca şi amplidina şi metadina, un generator cu cîmp transversal, dar are o dispoziţie întrucîtva diferită a bobinajelor. Magnavoltul funcţionează pe baza unui principiu diferit, dar este şi el un generator special de curent continuu, lucrînd ca un amplificator cu două etaje. Caracteristicile speciale ale acestor maşini sînt descrise în capitole separate.

Funcţionarea oricărui sistem de reglare necesită folosirea unor aparate şi maşini, cu ajutorul cărora, o putere de ieşire mare poate fi controlată operînd asupra unei puteri de intrare mult mai mici; aceste aparate şi maşini trebuie deci să aibă un *factor de amplificare în putere* ridicat. Un dispozitiv electric la care mărimile de ieşire pot fi reglate în mod continuu cu ajutorul unor mărimi de intrare mult mai mici este denumit *amplificator.* Maşinile electrice speciale descrise în această carte sînt amplificatoare rotative şi în esenţă îndeplinesc într-un sistem de reglare aceeaşi funcţiune ca un amplificator electronic sau magnetic.

În realitate, aceste maşini speciale sînt simple generatoare de curent continuu, avînd aceleaşi caracteristici ca şi generatoarele de curent continuu obişnuite, cu deosebirea că necesită un curent de

Scanned with OKEN Scanner

excitație mult mai redus. Orice generator de curent continuu la care mărimile de ieșire sînt controlate prin curentul de excitație, poate fi considerat un amplificator, dar în majoritatea cazurilor factorul de amplificare al acestor generatoare nu este suficient de mare pentru cerințele unui reglaj precis. O creștere a amplificării poate fi obținută folosind pentru excitarea generatorului o excitatoare și reglînd excitația acesteia. Generatorul cu cîmp transversal descris în această lucrare este echivalent cu un generator și o excitatoare, combinate într-o singură mașină.

Prima aplicație practică a unei mașini cu cîmp transversal a fost generatorul Rosenberg pentru iluminatul trenurilor, introdus în anul 1905. Mașina era folosită pentru a debita un curent aproximativ constant, independent de variațiile mari ale vitezei de rotație a generatorului. Potrivit cu terminologia actuală, această mașină este o metadină necompensată cu unele modificări speciale în circuitul magnetic, servind la menținerea constantă a cîmpului. Acest principiu a fost folosit mai tîrziu de Pestarini la *metadina-transformator* și la *metadina-generator*. Metadina-transformator și-a găsit o aplicație importantă în sistemele de reglaj din tracțiune, iar metadina-generator a fost folosită pentru alimentarea motoarelor de macarale și în alte acționări asemănătoare.

În toate aplicațiile mai vechi metadina era mașina principală a echipamentului și era astfel conectată, încît să asigure un curent aproximativ constant. Mai tîrziu, mașina a început să fie utilizată ca amplificator, ceea ce a dus la folosirea ei pe scară largă în diferite tipuri de sisteme de reglare. La început, mașina necompensată sau numai parțial compensată a fost folosită ca generator sau ca excitatoare în sistemele Ward Leonard, la care se impunea o caracteristică de curent constant, compensarea parțială avînd doar rolul de a mări amplificarea. Amplidina a fost realizată în anul 1938 de către Edwards și Alexanderson de la „General Electric Co"*) din America, ca o mașină total compensată, asigurîndu-se astfel o caracteristică de tensiune constantă, o dată cu amplificarea maximă posibilă.

În anii din urmă, experiența a confirmat tot mai mult că, dacă mașina se utilizează ca amplificator, în majoritatea cazurilor este preferabil să se lucreze cu mașina total compensată. De aci rezultă că un generator cu cîmp transversal, indiferent dacă poartă numele de

*) „Compania Generală de Electricitate" *(N.red.E.T.)*.

amplidină sau acela de metadină, în prezent, este prevăzut, de cele mai multe ori, cu o compensare totală, deşi în anumite cazuri, cînd condiţiile o impun, ambele tipuri se pot abate de la această regulă. Cele două denumiri, amplidină şi metadină, sînt în fond sinonime iar termenul general de „generator cu cîmp transversal“ se aplică la ambele. Magniconul şi magnavoltul diferă constructiv, dar caracteristicile şi utilizările lor sînt asemănătoare cu cele ale amplidinei şi metadinei.

Scanned with OKEN Scanner

1. TEORIA GENERATORULUI CU CÎMP TRANSVERSAL

B. ADKINS, M.A., M.I.E.E., A.M.I.C.E.
Imperial College of Science and Technology)*

Proprietățile speciale ale generatorului cu cîmp transversal se datoresc unor perii suplimentare așezate pe axa transversală, la mijlocul distanței dintre axele periilor principale.

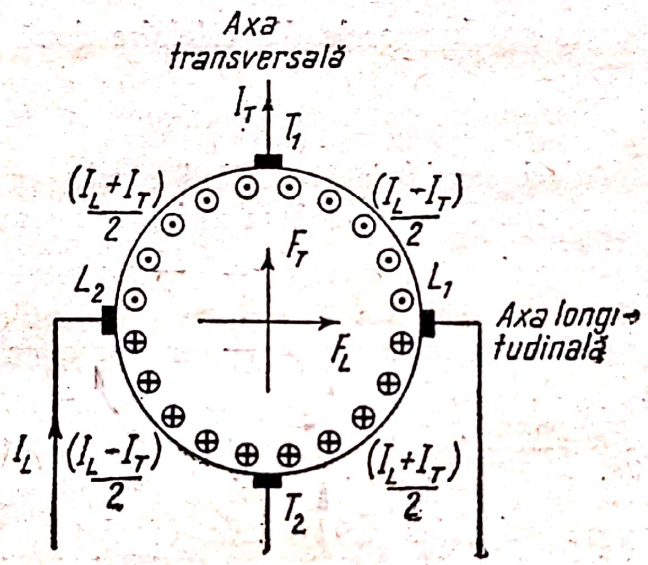


Fig. 1-1. Curenții rotorici ai generatorului cu cîmp transversal.

Principii de funcționare

În fig. 1-1 este reprezentat indusul și periile unei mașini bipolare. *Axa longitudinală* a mașinii cu *periile principale* (de sarcină) L_1L_2 este desenată orizontal, pe cînd *periile transversale* T_1T_2 se află pe *axa transversală*, desenată vertical. *Curentul transversal* I_T se în-

*) Colegiul imperial pentru știință și tehnologie (*N.red.E.T.*).

chide printr-un circuit exterior separat și este independent de *curentul de sarcină* I_L.

Figura respectă convenția obișnuită din manuale, reprezentînd periile în punctele indusului ocupate de către conductoarele cu care ele vin în legătură directă prin lamelele de colector. Trebuie notat că într-o astfel de reprezentare, axa longitudinală nu este axa fluxului principal, așa cum ar fi normal în cazul generatorului de curent continuu obișnuit. Fluxul principal este dat de curentul periilor transversale, așa cum se va explica mai jos, și axa sa coincide cu axa transversală.

Curenții din indus

În bobinajul indusului, cei doi curenți se suprapun. Așa cum se arată în fig. 1-1, în conductoarele din două cadrane circulă curenții $\frac{I_L+I_T}{2}$, în timp ce în conductoarele din celelalte două cadrane circulă curenții $\frac{I_L-I_T}{2}$. Distribuția generală a curenților în conductoarele indusului poate fi deci considerată ca fiind rezultanta a două distribuții diferite, suprapuse. Una este distribuția care s-ar produce dacă I_L ar acționa separat și are valoarea $+\frac{I_L}{2}$ în toate conductoarele aflate deasupra axei orizontale și $-\frac{I_L}{2}$ în toate cele aflate dedesubt, producînd astfel o forță magnetomotoare F_L care acționează de-a lungul axei orizontale. A doua distribuție parțială este aceea datorită curentului I_T acționînd singur și producînd o forță magnetomotoare F_T de-a lungul axei transversale.

De aci rezultă că deși cei doi curenți I_L și I_T circulă prin aceleași conductoare în bobinajul indusului, efectele lor pot fi luate în considerare separat. Într-un generator obișnuit de curent continuu, forța magnetomotoare de reacție a indusului produsă de curentul din indus provoacă numai o distorsionare a cîmpului principal și influențează doar în mică măsură modul de funcționare. În mașina cu cîmp transversal însă, forțele magnetomotoare F_L și F_T, datorate curenților din indus I_L și I_T au o importanță hotărîtoare.

Componentele fluxului

În generatorul cu cîmp transversal bipolar, reprezentat în fig. 1-2, polii sînt divizați în patru semipoli, notați cu P, Q, R, S.

Scanned with OKEN Scanner

Între semipoli rămîn spaţii libere, dispuse faţă în faţă cu cele patru perii, cu scopul de a ameliora comutaţia. *Fluxul principal* Φ_T, necesar pentru inducerea unei forţe electromotoare între periile principale

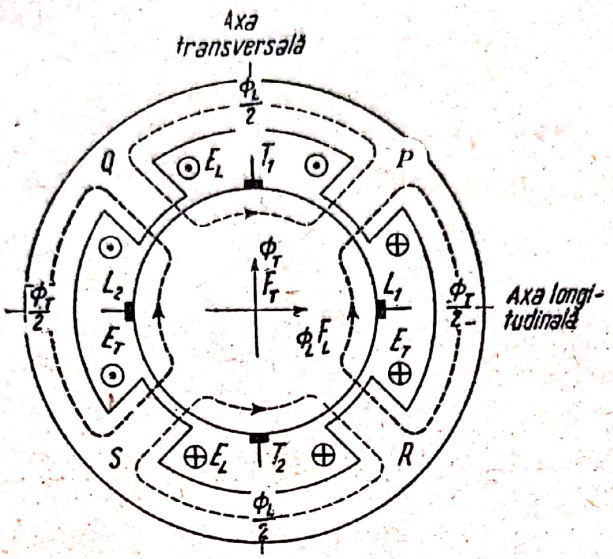


Fig. 1-2. Fluxurile generatorului cu cîmp transversal.

L_1L_2, trebuie să urmeze drumul indicat prin linia întreruptă groasă. Fluxul Φ_T este un flux bipolar cu axa verticală, unul din poli fiind format din semipolii P şi Q, iar celălalt pol din semipolii R şi S. Acest flux poate fi produs fie de curentul I_T circulînd între periile T_1T_2, aşa cum s-a arătat mai sus, fie de un curent circulînd prin bobinajul statoric de excitaţie E_T aşezat în spaţiile interpolare pe axa orizontală. Într-o maşină de curent continuu obişnuită, fluxul principal este produs de o bobină de excitaţie care înconjoară polii principali, la fel cum E_T înconjoară polii formaţi din semipolii PQ şi RS. În generatorul cu cîmp transversal fluxul principal Φ_T este însă produs de curentul I_T care circulă între periile transversale. Aceasta este, în fond, caracteristica distinctivă a maşinii cu cîmp transversal.

De asemenea, poate să mai existe un flux auxiliar Φ_L urmînd calea indicată prin linia întreruptă subţire. Ca şi fluxul principal Φ_T, fluxul Φ_L este un flux bipolar, în acest caz polii fiind formaţi din semipolii PR şi QS, iar axa sa este orizontală. Fluxul Φ_L induce o forţă electromotoare între periile transversale T_1T_2 dar nu induce nici o forţă electromotoare între periile principale L_1L_2. Un astfel de flux poate fi produs fie de către curentul I_L circulînd prin bobinajul indu-

sului între periile circuitului de sarcină L_1L_2, fie de un curent circulînd prin bobinajul statoric de excitație E_L așezat în cele două spații interpolare, pe axa verticală.

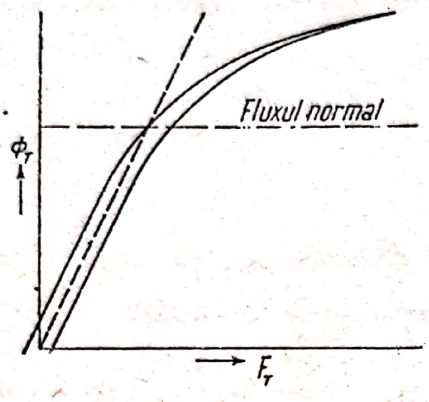


Fig. 1-3. Curba de magnetizare pentru fluxul principal.

Dacă numai unul din cele două fluxuri Φ_T sau Φ_L este prezent în mașină, există o relație bine definită între valoarea fluxului și a forței magnetomatoare care îl produce. Această relație poate fi exprimată sub forma unei curbe de magnetizare de tip obișnuit, ca în fig. 1-3, unde este reprezentată curba fluxului principal Φ_T al axei transversale. Curba formează o buclă datorită fenomenului de histerezis iar panta sa scade datorită saturației; domeniul de funcționare al amplidinelor și metadinelor se află de obicei în partea nesaturată. Pentru a explica modul de funcționare a mașinii și pentru prezentarea unei teorii simple, se consideră în general că curba de magnetizare este o dreaptă, așa cum se arată în fig. 1-3 printr-o linie întreruptă. Curba de magnetizare pentru Φ_L diferă de aceea a fluxului Φ_T în cazul că circuitul magnetic nu este simetric și poate fi aproximată printr-o altă dreaptă.

Presupunerea că fluxul este întotdeauna proporțional cu forța magnetomotoare care-l produce se poate exprima spunînd că mașina are *caracteristici liniare*. Pe baza acestei presupuneri se poate aplica principiul suprapunerii efectelor, ceea ce conduce la o explicare și la o teorie simplă, expusă în cele ce urmează. Efectul saturației și al fenomenului de histerezis asupra caracteristicilor este prezentat la sfîrșitul capitolului.

În mașina cu cîmp transversal fluxurile există simultan pe ambele axe, dar, folosind principiul suprapunerii efectelor, fluxul rezultant poate fi descompus în două fluxuri componente Φ_T și Φ_L, care se pot trata separat. După cum rezultă din fig. 1-2, semipolii P și S sînt străbătuți de fluxul $\frac{\Phi_T+\Phi_L}{2}$, iar semipolii Q și R de fluxul $\frac{\Phi_T-\Phi_L}{2}$. Datorită caracteristicii liniare, Φ_T poate fi considerat ca fiind produs numai de F_T iar Φ_L, numai de F_L. Pe de altă parte,

F_T și F_L sînt la rîndul lor produse de curenții din circuitul indusului și din bobinele de excitație corespunzătoare axelor respective.

Funcționarea generatorului cu cîmp transversal, necompensat

În fig. 1-4 sînt reprezentate bobinajele principale ale unui generator cu cîmp transversal, necompensat. Periile principale L_1L_2 asigură tensiunea de ieșire U_L și sînt străbătute de curentul I_L. Periile transversale T_1T_2 sînt scurtcircuitate și sînt străbătute de curentul transversal I_T, produs de forța electromotoare indusă între perii. Bobinajul de excitație E corespunde bobinajului E_L din fig. 1-2 și produce o forță magnetomotoare de-a lungul axei orizontale. Bobinajul E este denumit *bobinaj de comandă*, deoarece acesta determină mărimile de ieșire ale generatorului. *Curentul de comandă* se notează cu I_e și *tensiunea de comandă* cu U_e. Se presupune că mașina este antrenată cu viteză constantă, de un motor, sau de o altă sursă de energie mecanică.

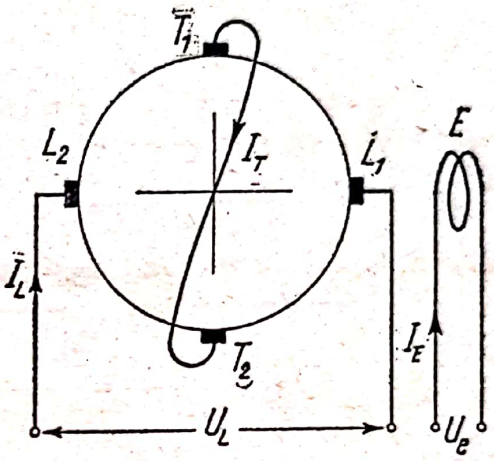


Fig. 1-4. Schema unui generator cu cîmp transversal, necompensat.

Considerînd întîi cazul cînd nu există curent de sarcină, fluxul Φ_L de-a lungul axei orizontale este datorat în întregime curentului de excitație I_e. Rezultă că forța electromotoare E_T indusă între periile transversale este dată de expresia:

$$E_T = k_e I_e = \frac{k_e}{R_e} U_e, \qquad (1)$$

în care:

k_e este o constantă depinzînd de panta curbei de magnetizare după axa orizontală și de numărul de sipre ale bobinajului de excitație;

R_e — rezistența bobinajului de excitație.

Forța electromotoare E_T face să circule prin indus curentul I_T; pentru indus se poate scrie $E_T = R_T I_T$ unde R_T este rezistența întregului circuit al indusului închis prin periile transversale.

Curentul I_T produce fluxul principal Φ_T pe axa verticală, care, la rîndul său, induce forța electromotoare de ieșire E_L. Deci:

$$E_L = k_T I_T = \frac{k_T}{R_T} E_T, \tag{2}$$

în care k_T este o constantă depinzînd de panta curbei de magnetizare după axa verticală și de numărul de spire ale bobinajului indusului.

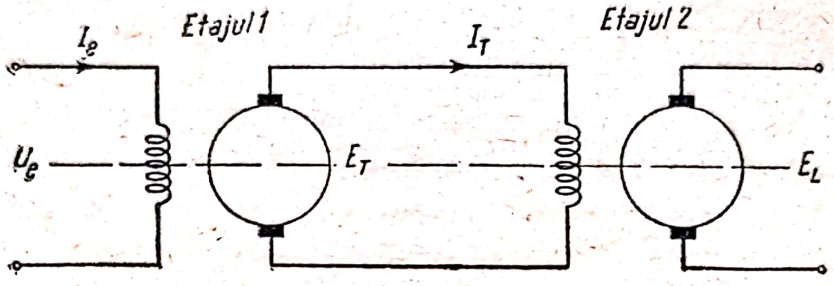


Fig. 1-5. Schema a două generatoare de curent continuu.

Dacă $I_L = 0$, funcționarea mașinii este analogă cu funcționarea unui amplificator cu două etaje, sau cu combinația a două generatoare de curent continuu, reprezentate în fig. 1-5. Mărimile U_e și I_e sînt respectiv tensiunea și curentul de excitație ale primului generator, iar E_T este forța electromotoare de ieșire a sa. Curentul I_T este curentul de excitație al celui de-al doilea generator, a cărui forță electromotoare de ieșire este E_L. Forța electromotoare E_T, care acoperă căderea de tensiune produsă de curentul I_T, este foarte mică și, în consecință, și puterea absorbită de circuitul de comandă este de asemenea mică.

Condițiile de funcționare se modifică însă atunci cînd circulă curentul de sarcină I_L, deoarece I_L produce o forță magnetomotoare de-a lungul aceleiași axe ca și curentul de comandă, dar de sens contrar. În acest caz, fluxul Φ_L este datorat diferenței dintre forțele magnetomotoare produse de curenții I_e și I_L, deci:

$$E_T = \frac{k_e}{R_e} U_e - k_L I_L, \tag{3}$$

în care k_L este o constantă care depinde de panta curbei de magnetizare după axa orizontală și de numărul de spire ale bobinajului indusului.

Funcționarea generatorului cu cîmp transversal, compensat

Într-o mașină necompensată, forța magnetomotoare produsă de curentul de sarcină este cu mult mai mare decît cea care este necesară pentru generarea micii forțe electromotoare transversale E_T. În consecință, pentru o forță electromotoare de ieșire dată, curentul de comandă ar trebui să crească foarte mult pentru a neutraliza efectul curentului de sarcină. La o mașină folosită ca amplificator într-un sistem de reglaj este însă important ca curentul de excitație să aibă o valoare redusă. Este evident că curentul de excitație rămîne mic, dacă reacția indusului, datorită curentului de sarcină, este neutralizată fie parțial, fie complet, cu ajutorul unui bobinaj de compensare notat în fig. 1-6 cu litera K. Pentru acest motiv majoritatea amplidinelor și metadinelor moderne sînt prevăzute cu bobinaje de compensare.

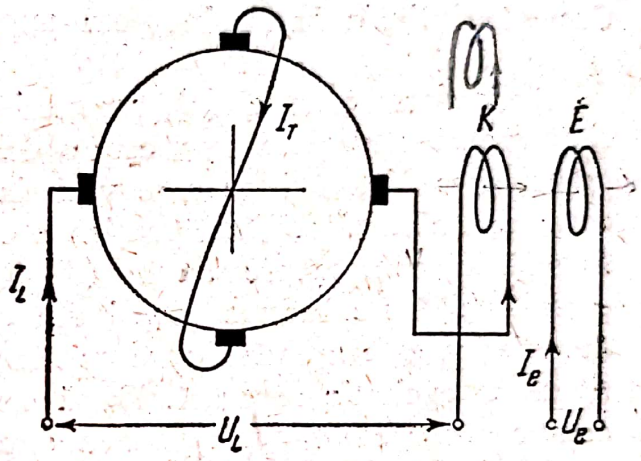


Fig. 1-6. Schema generatorului cu cîmp transversal, cu bobinaj de compensare.

Bobinajul de compensare constă din bobine așezate în spațiile interpolare, situate pe axa verticală în fig. 1-2, și uneori în crestături practicate în piesele polare. Acest bobinaj este legat în serie cu periile L_1L_2 ale circuitului de sarcină, în așa fel încît să producă o forță magnetomotoare de-a lungul axei orizontale, în sens contrar celei produse de curentul de sarcină din indus. Dacă raportul dintre numărul de amperspire ale bobinajului de compensare și numărul de amperspire al indusului este K, ecuația (3) devine:

$$E_T = \frac{k_e}{R_e} U_e - k_L I_L (1 - K). \qquad (4)$$

Cînd există curent de sarcină, tensiunea de ieșire U_L apare ca diferența dintre E_L și căderea de tensiune $I_L R_L$, în care R_L este rezistența circuitului rotoric principal, inclusiv bobinajul de compensare:

$$U_L = \frac{k_T}{R_T} E_T - I_L R_L. \qquad (5)$$

Din relațiile (4) și (5) rezultă:

$$U_L = \frac{k_T k_e}{R_T R_e} U_e - \left[\frac{k_T k_L}{R_T}(1-K) + R_L\right] I_L =$$

$$= K_U U_e - [k_K (1-K) + R_L] I_L \qquad (6)$$

unde

$$K_U = \frac{k_T k_e}{R_T R_e} \text{ și } k_K = \frac{k_T k_L}{R_T}.$$

Caracteristicile în regim permanent

Conform ecuației (6), caracteristica externă a unui generator cu cîmp transversal, nesaturat, este o dreaptă pe care tensiunea de mers în gol este $K_U U_e$ și pe care variația tensiunii este proporțională cu curentul de sarcină. Dacă mașina are un bobinaj de compensare care asigură o compensare totală (de 100%), termenul al doilea din ecuația (6) este format numai din căderea de tensiune $I_L R_L$ și caracteristica este asemănătoare cu cea a unui generator de curent continuu cu excitație separată. După cum se vede în fig. 1-7, pentru o compensare de 100%, tensiunea este aproape constantă în cuprinsul unui domeniu destul de larg de variație a sarcinii și se spune despre un astfel de generator că are *o caracteristică de tensiune constantă.*

În felul acesta, mașina funcționează ca un amplificator pentru care raportul dintre tensiunea de ieșire și tensiunea de intrare a circuitului de excitație este K_U. Acest raport este numit *factorul de amplificare în tensiune.* Termenul *amplidină* a fost introdus pentru acest tip de *amplificator dinamo-electric,* avînd o caracteristică de tensiune constantă și un factor de amplificare în tensiune ridicat. Tensiunea de ieșire poate fi reglată după necesitate, variind tensiunea de excitație, dar pentru o valoare dată a tensiunii de excitație, tensiunea de ieșire rămîne sensibil constantă la orice sarcină. Datorită compensării, curentul de sarcină nu influențează fluxul produs de curentul de excitație și amplidina este echivalentă cu combinația celor două generatoare reprezentate în fig. 1-5, chiar dacă lucrează în sarcină.

Factorul de amplificare în putere al amplidinei se definește ca raportul dintre puterea de ieșire $U_L I_L$ și puterea de intrare $U_e I_e$ furnizată bobinajului de comandă. Într-o mașină total compensată, acest raport poate fi foarte ridicat (20 000 sau mai mult).

Scanned with OKEN Scanner

Dacă compensarea nu este totală, caracteristicile suferă modificări apreciabile deoarece k_K este în mod obişnuit mult mai mare decît R_L. Dacă, de exemplu, avem o compensare de 95% ($K=0{,}95$), termenul k_K $(1—K)$ din ecuaţia (6) este în general mai mare decît R_L şi caracteristica coboară, aşa cum se arată în fig. 1-7. Despre o astfel de maşină se spune că este *subcompensată* cu 5%. Pentru ca maşina să genereze în acest caz aceeaşi tensiune ca mai înainte, tensiunea de mers în gol $K_U U_e$ trebuie mărită; se cere deci o excitaţie mai mare.

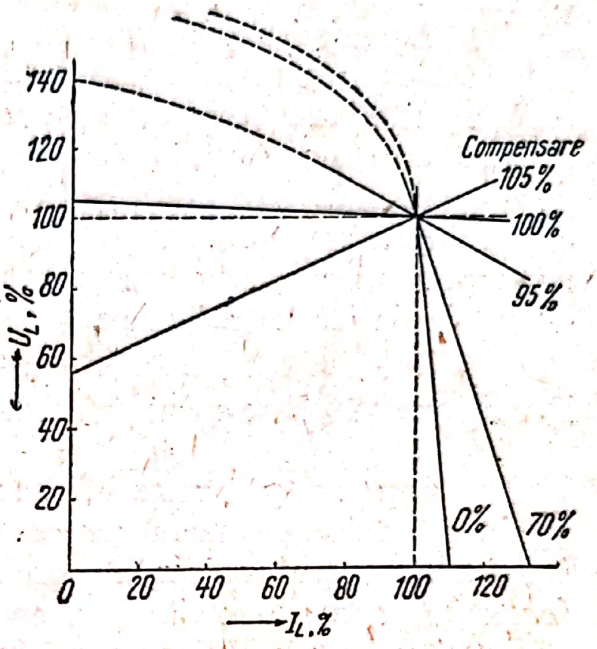


Fig. 1-7. Caracteristicile externe ale generatorului cu cîmp transversal, pentru diferite valori ale gradului de compensare.

Dacă din contra, numărul de amperspire ale bobinajului de compensare este mai mare decît cel al indusului, se spune că maşina este *supracompensată*. Caracteristica de sarcină a unui generator cu cîmp transversal cu o supracompensare de 5% ($K=1{,}05$) este reprezentată în fig. 1-7. Tensiunea creşte cu sarcina şi, pentru o tensiune la sarcina nominală dată, tensiunea de mers în gol corespunzătoare este mai redusă.

Dacă compensarea este mult sub 100% caracteristicile capătă o pantă atît de mare încît modul de funcţionare se apropie mai mult de acela la care curentul este constant şi nu tensiunea. Curentul unei maşini necompensate, (v. fig. 1-7, curba notată cu 0%) variază numai cu puţin atunci cînd tensiunea creşte de la zero la valoarea nominală. Despre un astfel de generator se spune că are o *caracteristică de curent constant*. Chiar cu o compensare de 70%, curba este încă de tipul caracteristicii de curent constant, numai că panta sa este mai mică.

În ipoteza că nu avem saturaţie, caracteristicile sînt toate linii drepte şi este evident că, într-un generator necompensat sau subcompensat, tensiunea de mers în gol va fi foarte înaltă. De asemenea şi tensiunea de excitaţie este mult mai mare decît în cazul unei maşini total compensate. În practică însă, tensiunea este limitată de saturaţie şi caracteristicile se curbează, aşa cum este indicat pe figură prin linii întrerupte. După cum s-a arătat mai sus, faptul că curentul de excitaţie

are valori mari, în cazul mașinii necompensate, determină folosirea compensării, care poate fi parțială, dacă se cere o caracteristică de curent constant, sau totală, dacă se cere o caracteristică de tensiune constantă.

Caracteristica de curent constant a generatorului necompensat se poate explica prin faptul că echilibrul depinde de raportul dintre amperspirele inductorului și acelea ale indusului. Atîta timp cît mașina este nesaturată, numărul de amperspire rezultant necesar pentru excitație este mult mai mic decît oricare altă componentă, așa că tensiunea trebuie să se stabilească automat astfel, încît să mențină un curent aproximativ constant. Efectul este acela al unei *reacții de curent* de la ieșire la intrare.

Funcționarea în regim tranzitoriu

Cunoașterea caracteristicilor în regim permanent ale mașinilor și ale celorlalte elemente componente ale unui sistem de reglare este suficientă pentru proiectarea preliminară și pentru determinarea performanțelor sale în regim permanent. Pot fi găsite astfel valorile componentelor pentru obținerea mărimilor de ieșire date și pentru menținerea preciziei necesare în regim permanent. Cuvîntul „reglaj" presupune însă prezența unor variații și, de aceea, comportarea sistemului în regimurile tranzitorii devine mai importantă decît caracteristicile în regim permanent. Rapiditatea răspunsului și precizia în regim tranzitoriu sînt mult mai importante, în practică, decît precizia din regimul permanent. În plus, este foarte important să se prevadă ca, oricare ar fi condițiile, funcționarea să nu devină instabilă.

Prin urmare, este necesar să se studieze comportarea sistemului în regim tranzitoriu, cînd tensiunile și curenții variază în timp. În cele ce urmează se deduc ecuațiile întîi pentru generatorul cu cîmp transversal compensat și apoi pentru cel necompensat sau parțial compensat. Variabilele sînt valorile instantanee ale tensiunii și ale curentului; ecuațiile diferențiale vor fi exprimate sub forma operațională, putîndu-le astfel combina cu relațiile altor elemente componente, în scopul de a studia comportarea întregului sistem. Ca și pînă aici, vom presupune că mașina are caracteristici liniare.

Ecuațiile generatorului cu cîmp transversal, total compensat

Ne vom referi la fig. 1-6, în care se văd cele trei circuite — de excitație, de sarcină și cel transversal — ale mașinii pentru care

urmează să se stabilească ecuațiile; valorile instantanee ale tensiunii și ale curentului le vom nota cu litere mici e, u și i, afectate de indicii corespunzători. Fiind vorba de generatorul total compensat, curentul din indus nu produce vreun flux util pe axa orizontală care să fie înlănțuit cu bobinajul de excitație și deci nu avem inductanță mutuală între aceste două circuite. Fiecare are însă inductanța sa proprie. Inductanța bobinajului de excitație L_e reprezintă inductanța proprie totală asociată fluxului principal Φ_L produs de bobinajul de excitație. Inductanța L_L a circuitului de sarcină este inductanța de scăpări combinată a bobinajului indusului și a celui de compensare.

De-a lungul axei transversale fluxul este produs numai de curentul i_T din circuitul transversal al indusului și deci nu există inductanță mutuală între acest circuit de pe axa transversală și restul circuitelor de pe axa longitudinală. Inductanța transversală L_T este inductanță proprie totală asociată fluxului total produs de curentul transversal.

Rezultă că, pentru o mașină total compensată, ecuațiile pentru regimul tranzitoriu sînt asemănătoare celor din regimul permanent, cu excepția unor termeni de forma $L\ di/dt$, care trebuie introduși cu indicii corespunzători, în ecuația fiecărui circuit. Folosind simbolul p pentru operatorul diferențial d/dt, cele trei ecuații sînt:

$$u_e = (R_e + pL_e)\, i_e, \tag{7}$$

$$e_T = k_e i_e = (R_T + pL_T)\, i_T, \tag{8}$$

$$u_L = k_T i_T - (R_L + pL_L)\, i_L. \tag{9}$$

Eliminînd pe i_e și i_T din aceste ecuații, se obține:

$$u_L = \frac{k_e k_T}{(R_e + pL_e)(R_T + pL_T)}\, u_e - (R_L + pL_L)\, i_L. \tag{10}$$

Dacă combinăm ecuațiile unui generator amplificator cu acelea ale altor elemente componente ale unui sistem de reglare, în mod obișnuit rezistența și inductanța circuitului de sarcină al generatorului se includ în acelea ale circuitului în care este conectat și se consideră forța electromotoare (tensiunea internă) e_L drept tensiune de ieșire. În scopul simplificării ecuațiilor este avantajos să se introducă constantele de timp ale circuitului de excitație și transversal. Forța electromotoare este dată de relația:

$$e_L = u_L + (R_L + pL_L)\, i_L.$$

Scanned with OKEN Scanner

De aici rezultă că ecuația în regim tranzitoriu a unei amplidine total compensate poate fi exprimată sub forma:

$$e_L = \frac{K_u}{(1+pT_e)(1+pT_T)} u_e \qquad (11)$$

în care:

K_u este factorul de amplificare în tensiune, definit mai sus;

$T_e = \frac{L_e}{R_e}$ — constanta de timp a circuitului de excitație;

$T_T = \frac{L_T}{R_T}$ — constanta de timp după axa transversală.

Astfel, amplidina este perfect definită în regimul tranzitoriu, prin combinația a două generatoare, reprezentată în fig. 1-5, cu condiția ca inductanțele celor două bobinaje de excitație să fie corect determinate și ca forța electromotoare e_L să fie considerată drept tensiune de ieșire.

Ecuațiile generatorului cu cîmp transversal, subcompensat

Dacă bobinajul de compensare K din fig. 1—6 nu compensează complet amperspirele indusului, există o inductanță mutuală M între circuitul de sarcină și circuitul de comandă, valoarea ei depinzînd de gradul de subcompensare. În plus, curentul de sarcină influențează și tensiunea indusă de fluxul transversal, după cum rezultă din ecuația (4). În acest caz, ecuațiile sînt:

$$u_e = (R_e + pL_e)\, i_e + pMi_L\,, \qquad (12)$$

$$e_T = k_e i_e - k_L (1-K)\, i_L = (R_T + pL_T)\, i_T\,, \qquad (13)$$

$$u_L = e_T i_T + pMi_e - (R_L + pL_L)\, i_L. \qquad (14)$$

Prin eliminarea lui i_e și i_T se obține

$$e_L = \left[\frac{K_u}{(1+pT_e)(1+pT_T)} + \frac{pM}{R_e(1+pT_e)}\right](u_e - pMi_L) - \frac{k_K(1-K)}{(1+pT_T)}\, i_L. \qquad (15)$$

Efectul subcompensării este același care s-ar obține adăugînd un al doilea bobinaj de excitație la primul generator din fig. 1-5, și care ar fi conectat în circuitul de ieșire al celui de al doilea gene-

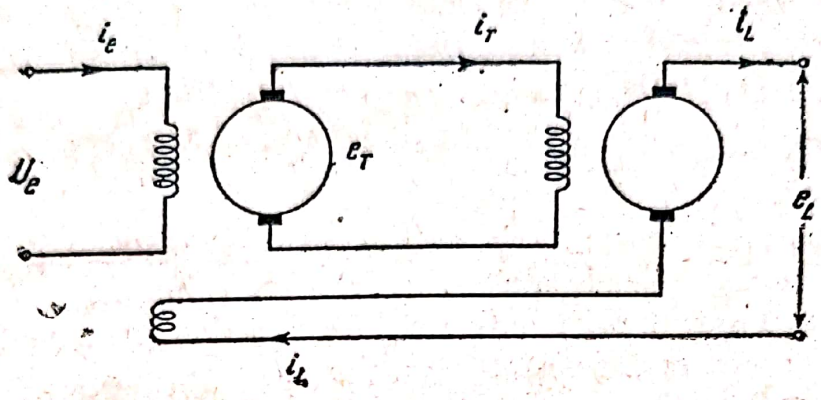


Fig. 1-8. Schema a două generatoare de curent continuu, cu reacție de curent.

rator, așa cum se arată în fig. 1-8. Tensiunea de ieșire este considerată a fi e_L, deoarece s-a presupus că rezistența și inductanța circuitului de sarcină au fost trecute în circuitul exterior. Astfel, așa cum s-a mai menționat, subcompensarea introduce o reacție de curent în amplificator. Influența principală a reacției este un efect de compundare arătat pe caracteristicile de regim permanent din fig. 1-7; în regimul tranzitoriu mai există însă și o influențare reciprocă între circuitele de intrare și ieșire, ceea ce trebuie luat în considerare.

Experiențe cu sisteme de reglare cu circuit închis, folosind generatoare cu cîmp transversal, au dovedit că, pentru majoritatea scopurilor, este preferabil generatorul amlificator care funcționează numai ca amplificator, adică acela cu compensare 100%. O astfel de mașină absoarbe o putere de excitație foarte redusă și are o funcționare mai simplă decît una subcompensată. Chiar dacă se cere o reacție de curent, este adesea preferabil să se prevadă aceasta printr-un circuit exterior, decît prin mașina însăși; cu toate acestea, în anumite cazuri speciale, se poate folosi și o mașină subcompensată. Analiza unui generator cu cîmp transversal, subcompensat, se poate face în modul cel mai avantajos considerîndu-l drept o mașină total compensată, avînd o reacție de curent.

În afară de posibilitatea de a folosi subcompensarea în mod voit, este inevitabil ca în practică compensarea să difere de 100% și din cauza acestei erori se introduce un oarecare efect de compundare.

În timpul funcționării în regim permanent, efectul de compundare este echivalent cu o modificare a rezistenței efective a indusului și poate fi luat în calcul ca atare; în regim tranzitoriu trebuie însă luată în considerare și influența reciprocă dintre circuitele de intrare și ieșire. Dacă eroarea de compensare este mică, acțiunea inductanței mutuale poate fi neglijată.

Factorul de amplificare și constantele de timp

Caracteristicele unui sistem de reglare nu depind numai de caracteristicile individuale ale elementelor componente, ci și de modul în care acestea sînt combinate. Rezultă deci că funcționarea echipamentului trebuie analizată folosind ecuațiile complete ale sistemului, considerat ca un întreg, așa cum se va arăta mai departe. Pentru a deter-

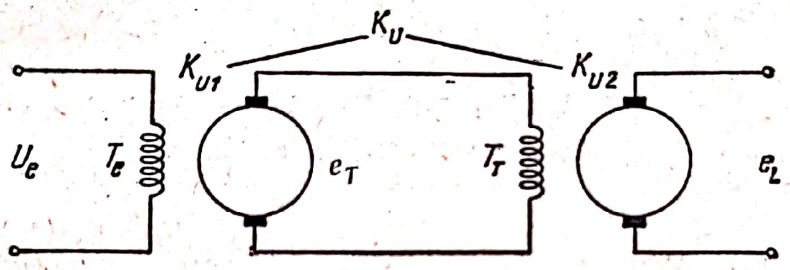


Fig. 1-9. Reprezentarea amplidinei prin intermediul unei scheme compuse din două generatoare de curent continuu.

mina constantele ce apar în ecuații este însă necesar să se cerceteze elementele componente în mod individual. Ecuațiile unei amplidine, lucrînd separat, prezintă deci interes mai ales ca mijloc de determinare a valorii constantelor și de controlare a valabilității ecuațiilor folosite pentru reprezentarea mașinii. În acest scop se consideră realizată situația de mers în gol. Cele ce urmează se aplică în egală măsură generatorului cu cîmp transversal total compensat ca și celui subcompensat, știind că subcompensarea are influență mică, dacă curentul de sarcină este nul.

Pe baza ipotezelor făcute la deducerea ecuațiilor (11) amplidina poate fi asimilată cu cele două generatoare reprezentate în fig. 1—9, unde simbolul e_T este folosit pentru forța electromotoare intermediară indusă între periile transversale. Caracteristicile amplidinei de-

pind de trei constante, şi anume: factorul de amplificare în tensiune K_u — care este produsul factorilor de amplificare în tensiune K_{u1} şi K_{u2} ai celor două etaje — şi cele două constante de timp T_e şi T_T. Dacă tensiunea de intrare u_e este o tensiune constantă, atunci tensiunea de ieşire e_L este determinată numai de factorul K_u, dar dacă u_e variază în timp, e_L depinde şi de constantele de timp.

Dintre multiplele moduri posibile de variaţie a tensiunii de intrare, pentru analiză şi încercări, se obişnuieşte să se ia în considerare două moduri particulare de variaţie. Unul dintre aceste moduri de variaţie a tensiunii de intrare este saltul unitar de tensiune care corespunde cazului cînd valoarea tensiunii creşte brusc de la zero la o valoare constantă. Un astfel de salt de tensiune se obţine în practică prin conectarea la o tensiune constantă. Al doilea tip de tensiune de intrare este o undă sinusoidală de frecvenţă cunoscută. În ambele cazuri tensiunea de ieşire e_L care reprezintă răspunsul amplificatorului la tensiunea de intrare u_e poate fi determinată cu ajutorul ecuaţiei operaţionale (11).

Pentru orice element amplificator se poate deduce o relaţie între tensiunile de intrare şi ieşire asemănătoare cu ecuaţia (11). Funcţia operaţională în p, obţinută prin împărţirea expresiei pentru e_L prin u_e, se numeşte *funcţia de transfer a elementului*. Deci funcţia de transfer a amplidinei este:

$$F(p) = \frac{K_u}{(1 + pT_e)\,(1 + pT_T)}. \qquad (16)$$

Răspunsul la o tensiune de intrare salt unitar

Dacă se aplică brusc o tensiune constantă bobinajului de comandă, tensiunea de intrare se exprimă prin relaţia:

$$u_e = U_e \mathbf{1},$$

unde $\mathbf{1}$ este funcţia salt unitar al lui Heaviside.

Forţele electromotoare e_T şi e_L nu cresc instantaneu, ci într-un mod determinat de constantele de timp T_e şi T_T. Ecuaţia care exprimă variaţia lui e_T în funcţie de timp, se obţine prin rezolvarea ecuaţiei operaţionale:

$$e_T = \frac{K_{u1}}{(1 + pT_e)} U_e \mathbf{1}, \qquad (17)$$

în care

$$K_{u1} = \frac{k_e}{R_e}.$$

Soluția ecuației (17) este:

$$e_T = K_{u1}\, U_e\, (1-\varepsilon^{-t/T_e}). \tag{18}$$

Curba lui e_T, trasată în fig. 1-10, este deci o curbă exponențială, avînd constanta de timp T_e. Constanta de timp poate fi determinată din curbă într-unul din următoarele două moduri:

1. timpul care ar fi necesar pentru atingerea valorii constante finale $K_{u1}U_e$ dacă s-ar menține viteza inițială;

2. timpul necesar pentru a atinge 63,2% (=1—1/ε) din valoarea constantă.

În mod asemănător, dacă se aplică un salt unitar de tensiune $e_T = E_T\mathbf{1}$ celui de-al doilea etaj, tensiunea de ieșire crește la valoarea $K_{u2}E_T$ după o curbă exponențială, avînd constanta de timp T_T.

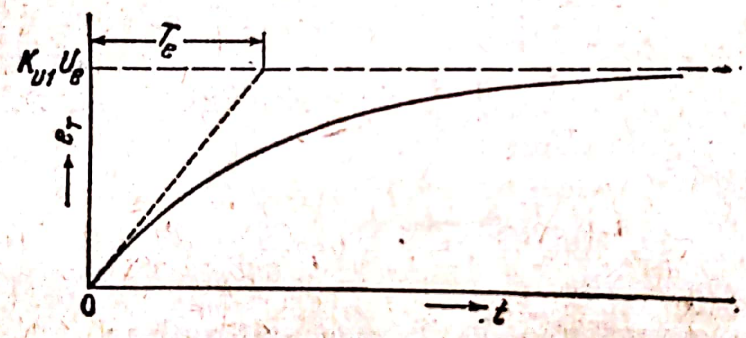


Fig. 1-10. Curba de răspuns pentru un singur etaj din fig. 1-9.

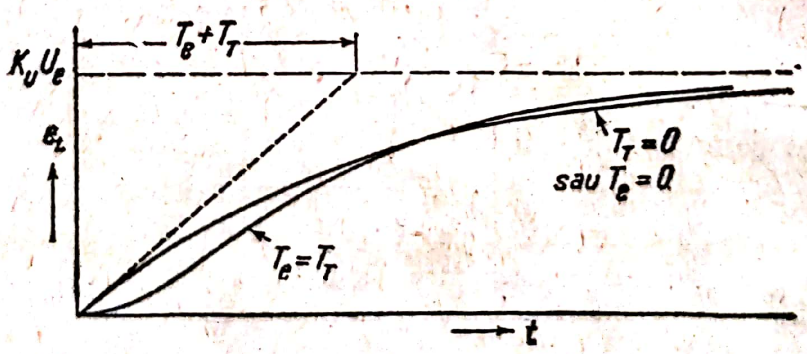


Fig. 1-11. Curba de răspuns pentru ambele etaje din fig. 1-9, cu $T_e + T_T$ = const.

Cînd funcţionează ambele etaje, curba lui e_L care reprezintă răspunsul la un salt de tensiune $u_e\mathbf{1}$ aplicat la intrare, se obţine prin rezolvarea ecuaţiei operaţionale:

$$e_L = \frac{K_u}{(1+pT_e)\,(1+pT_T)}\,U_e\,\mathbf{1}.$$

Soluţia este:

$$e_L = K_u U_e \left[1 - \frac{T_e}{T_e - T_T}\,\varepsilon^{-t/T_e} + \frac{T_T}{T_e - T_T}\,\varepsilon^{-t/T_T}\right]. \qquad (19)$$

Pentru cazul limită, cînd $T_e = T_T$, soluţia este:

$$e_L = K_u U_e \left[1 - \varepsilon^{-t/T_e} - \frac{t}{T_e}\,\varepsilon^{-t/T_e}\right]. \qquad (20)$$

În fig. 1-11 sînt trasate curbele de răspuns pentru $T_e = 0$ şi pentru $T_e = T_T$, presupunînd că $T_e + T_T$ are aceeaşi valoare. Dacă suma $T_e + T_T$ rămîne constantă, curbele corespunzînd oricăror altor valori ale raportului T_e/T_T sînt cuprinse între cele două curbe de limită $T_e = 0$ şi $T_e = T_T$. Dacă T_e este mai mare decît T_T se aplică aceeaşi familie de curbe de răspuns, folosind raportul T_T/T_e.

Deoarece curba de răspuns pentru întreaga maşină nu este o curbă exponenţială, la amplidină nu se poate vorbi în mod strict de o singură constantă de timp. Totuşi, curba se apropie de curba exponenţială avînd constanta de timp $(T_e + T_T)$ şi pentru acest motiv se poate considera că amplidina are o constantă de timp efectivă de acelaşi ordin de mărime cu suma celor două constante de timp separate.

Răspunsul la o tensiune de intrare sinusoidală

Dacă se aplică bobinajului de comandă o tensiune sinusoidală de frecvenţă f, forţele electromotoare e_T şi e_L sînt de asemenea sinusoidale şi au aceeaşi frecvenţă, dar rămîn în urma tensiunii de intrare cu unghiuri de fază ce depind de constantele de timp T_e şi T_T şi de frecvenţă. Tensiunile alternative pot fi reprezentate fie prin vectori într-o diagramă vectorială, fie prin numere complexe, notate $\overline{E}$ sau $\overline{U}$ cu indici corespunzători. În paragrafele care urmează, atît vectorul dintr-o diagramă, cît şi numărul complex corespunzător este considerat ca un *complexor*.

Ecuațiile în complexori care se referă la numerele complexe $\overline{U}_e$, $\overline{E}_T$, $\overline{E}_L$ pot fi deduse din ecuațiile operaționale generale (8) și (11), înlocuind literele mici prin simbolul corespunzător de număr complex, și trecînd $j\omega$ în loc de p, unde $\omega = 2\pi f$ și $j = \sqrt{-1}$. De aici rezultă:

$$\overline{E}_T = \frac{K_{u1}}{(1 + j\omega T_e)} \overline{U}_e , \tag{21}$$

$$\overline{E}_L = \frac{K_u}{(1 + j\omega T_e)\ (1 + j\omega T_T)} \overline{U}_e . \tag{22}$$

Fig. 1-12 *a* și 1-12 *b* sînt *diagrame în planul complex*, indicînd legătura între complexorii care reprezintă cele trei tensiuni, în cazul a două frecvențe diferite. În aceste diagrame $T_e = 0{,}2$ s și $T_T =$

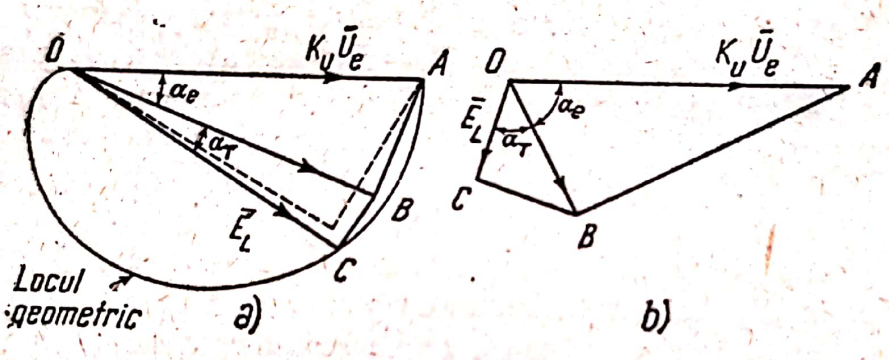


Fig. 1-12. Diagrama polară reprezentînd relațiile dintre complexorii a trei tensiuni.
(*a*) $\omega = 2$ rad/s (0,32 Hz)
(*b*) $\omega = 10$ rad/s (1,6 Hz).

$= 0{,}1$ s; fig. 1-12 *a* este trasată pentru $\omega = 2$ rad/s (0,32 Hz) iar fig. 1-12 *b* pentru $\omega = 10$ rad/s (1,6 Hz). Complexorul tensiunii de intrare $\overline{U}_e$ este trasat orizontal și segmentul $\overline{OA}$ reprezintă tensiunea de ieșire $K_u\overline{U}_e$ obținută la frecvența nulă. Complexorul $\overline{OB}$, reprezentînd $K_u\overline{U}_e/(1 + j\omega T_e)$ este proporțional cu $\overline{E}_T$ și este defazat în urma lui $\overline{U}_e$ cu unghiul $\alpha_e = \text{arctg}\, \omega T_e$. Complexorul $\overline{OC}$ reprezintă $\overline{OB}/(1 + j\omega T_T)$ și este defazat în urma lui $\overline{OB}$ cu unghiul $\alpha_T = \text{arctg}\, \omega T_T$.

Prin urmare, segmentul $\overline{OC}$ dă valoarea tensiunii de ieșire $\overline{E}_L$. În fig. 1-12 *b* unghiurile sînt mai mari din cauza frecvenței mai ridicate.

Atunci cînd frecvența variază de la zero la infinit, extremitatea complexorului forței electromotoare $\bar{E}_L$ descrie curba *locului geometric al complexorului* reprezentată în fig. 1-12 *a*. O curbă de acest tip trasată pentru tensiunea de intrare unitară, este cunoscută sub denumirea de *loc Nyquist* și are o importanță considerabilă în analiza sistemelor de reglaj. Curba indică modul în care mărimea și faza tensiunii de ieșire variază în raport cu creșterea frecvenței. La frecvențe joase, valoarea este doar cu puțin mai mică decît cea în curent continuu și unghiul total de defazaj ($\alpha_e + \alpha_T$) este mic. La frecvențe mai ridicate, valoarea tensiunii la ieșire este mult redusă și devine nulă la frecvențe infinite. Unghiul de defazaj crește, dar nu poate depăși niciodată 180°.

Diagrama care s-ar obține în cazul că amplidina ar avea o singură constantă de timp (T_e+T_T) este arătată prin linia întreruptă subțire în fig. 1-12 *a*. Este evident că eroarea decurgînd din această aproximație nu este mare atîta timp cît unghiurile α_e și α_T sînt mici. La frecvențe mai înalte, rezultatul poate fi cu totul greșit, deoarece unghiul de defazaj cu o singură constantă de timp nu poate depăși niciodată 90°. Dacă însă constantele de timp ale amplidinei sînt mici în comparație cu cele ale altor elemente ale sistemului de reglare în care ea este folosită, este adesea justificată simplificarea ecuațiilor considerînd că există o singură constantă de timp egală cu suma celor două constante de timp individuale.

Bobinaje de comandă suplimentare

Cu toate că generatorul cu cîmp transversal din fig. 1-6 are numai un singur bobinaj de comandă, este foarte obișnuit la mașinile destinate să lucreze în sisteme de reglare ca să aibă mai multe bobinaje de excitație independente, fiecare din ele fiind așezat așa cum este indicat prin bobina E_L în fig. 1-2. Astfel de bobinaje sînt folosite pentru a compara diferite mărimi între ele, sau sînt conectate în circuite speciale pentru stabilizare sau pentru alte scopuri. În sistemele de reglare industriale, care nu folosesc amplificatoare electronice se pot găsi de obicei 3 pînă la 5 astfel de bobinaje de excitație. Atunci cînd excitația amplidinei este furnizată de un amplificator electronic, este suficient un singur bobinaj, așa cum se și întîmplă în diferite tipuri de servo-mecanisme.

Pentru a deduce ecuațiile unei mașini cu mai multe bobinaje de comandă, se obișnuiește să se presupună că acestea sînt bobinate atît de strîns încît nu există scăpări între ele. Cu această presupunere,

forța electromotoare indusă în oricare bobinaj de excitație este proporțională cu viteza de variație a fluxului după axa longitudinală Φ_L și cu numărul de spire al bobinajului. Fie, în afară de bobinajul de excitație principal E din fig. 1-6, alte bobinaje de excitație E_a, E_b etc., avînd un număr de spire de N_a, N_b etc., de ori mai mare decît numărul de spire ale bobinajului principal de excitație. Fie curenții prin aceste bobinaje i_{ea}, i_{eb} etc. În acest caz, forța magnetomotoare rezultantă datorită bobinajelor de excitație este proporțională cu i_{et}, unde

$$i_{et} = (i_e + N_a i_{ea} + N_b i_{eb} + \ldots)$$

și, dacă mașina este total compensată, tensiunea indusă în bobinajul E_a este:

$$N_a p L_e i_{et}.$$

Se pot deci scrie fără dificultate ecuațiile pentru orice număr de bobinaje.

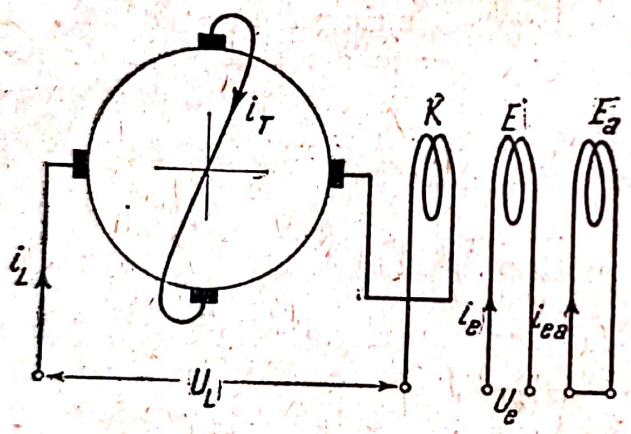


Fig. 1-13. Amplidină cu bobinaj de excitație suplimentar.

Drept exemplu se va considera cazul simplu, ilustrat în fig. 1-13, al unei amplidine avînd un bobinaj de excitație suplimentar E_a care are de N_a ori mai multe spire decît bobinajul de excitație principal E și este parcursă de curentul i_{ea}. Se presupune că bobinajul este scurtcircuitat și că rezistența totală a circuitului este R_{ea}. Inductanța proprie a bobinajului este $N^2_a L_e$, dacă cuplajul cu bobinajul E este perfect, așa cum s-a presupus mai sus.

Ecuațiile bobinajelor de excitație și ale forței electromotoare e_T induse în circuitul transversal sînt:

$$u_e = R_e i_e + p L_e i_{et}\,, \tag{23}$$

$$0 = R_{ea} i_{ea} + N_a p L_e i_{et}\,, \tag{24}$$

$$e_T = k_e i_{et}\,, \tag{25}$$

unde:

$$i_{et} = (i_e + N_a i_{ea}) \cdot$$

Înmulţind ecuaţia (24) cu $\frac{R_e}{R_{ea}} N_a$ şi adunînd-o cu (23), se obţine:

$$u_e = R_e \left[i_{et} + \left(\frac{L_e}{R_e} + \frac{N_a^2 L_e}{R_{ea}} \right) p i_{et} \right] = R_e \left[1 + (T_e + T_{ea})\, p \right] i_{et} \quad (26)$$

unde $T_{ea} = \frac{N_a^2 L_e}{R_{ea}}$ este constanta de timp a bobinajului suplimentar. De aici rezultă:

$$u_T = \frac{K_{u1}}{[1 + (T_e + T_{ea})p]}\, u_e \cdot \quad (27)$$

Ecuaţia este identică cu aceea a unui singur bobinaj de excitaţie, avînd însă constanta de timp $(T_e + T_{ea})$. Rezultă că prezenţa unui bobinaj de excitaţie scurtcircuitat se ia în considerare în calcul prin adăugarea constantei sale de timp la constanta de timp a bobinajului principal, dacă între ele nu există scăpări. Pentru mai multe bobinaje de excitaţie scurtcircuitate, constanta de timp efectivă este egală cu suma tuturor constantelor de timp.

Bobinaje transversale şi bobinaje de compundare serie

O amplidină are uneori o înfăşurare separată pe stator, aşezată pe locul indicat cu E_T în fig. 1-2 şi conectată în serie cu periile de pe axa transversală. Un astfel de bobinaj cunoscut sub denumirea de *bobinaj transversal* serveşte pentru a întări amperspirele axei transversale datorate curentului transversal şi are ca efect reducerea valorii curentului transversal pentru o tensiune de ieşire dată. Ecuaţiile (7)—(12) date mai sus sînt valabile şi în acest caz, dar R_T, L_T şi k_T se referă la circuitul transversal complet.

De asemenea este posibil să se conecteze un bobinaj statoric aşezat în locul lui E_T în serie cu periile circuitului de sarcină, pentru a acţiona ca un *bobinaj de compundare serie*, asemănător celor folosite în generatoarele de curent continuu obişnuite. În mod similar, caracteristicile amplidinei pot fi modificate conectînd un bobinaj statoric

aşezat în locul lui E_L, în serie cu periile transversale. Astfel de bobinaje sînt uneori folosite în scopuri speciale, dar pentru majoritatea aplicaţiilor nu este necesar de a complica maşina în acest fel.

Efectul decalării periilor

Pînă aici s-a presupus că periile sînt aşezate exact pe axele maşinii, astfel încît oricare curent (I_L sau I_T din fig. 1-1) produce o forţă magnetomotoare de-a lungul axei proprii, dar nu produce nici o forţă magnetomotoare pe cealaltă axă. Oricare pereche de perii poate, însă, să fie decalată faţă de axă cu un unghi mic oarecare. Curentul în această pereche de perii produce în acest caz, de-a lungul celeilalte axe, o forţă magnetomotoare a cărei valoare depinde de unghiul de decalaj. Deoarece forţa magnetomotoare este proporţională cu curentul, efectul este identic cu acela produs de un bobinaj de compundare serie, de tipul menţionat mai sus.

S-a considerat, de asemenea, că poziţia efectivă a periei se află pe linia de centru reală a periei, la jumătatea distanţei dintre muchii. Această ipoteză presupune că densitatea de curent este uniformă pe toată suprafaţa periei. Distribuţia de curent depinde însă de condiţiile de comutaţie ale maşinii şi poate fi considerată aproximativ uniformă numai în cazul existenţei unor poli auxiliari corect reglaţi. Dacă nu există poli auxiliari, densitatea de curent este maximă în apropierea muchiei de fugă a periei şi centrul efectiv al periei este deplasat faţă de centrul real, în sensul rotaţiei.

În mod obişnuit, în amplidine se prevăd poli auxiliari pentru îmbunătăţirea comutaţiei la periile de sarcină; pentru periile circuitului transversal, prin care curentul este mai redus, nu se prevăd poli auxiliari. În acest caz, dacă centrele reale ale periilor sînt corect aşezate pe axe (adică în *poziţie neutră*), nu există efect de compundare la periile principale, dar poate exista o pronunţată acţiune de compundare la periile transversale. Se poate ţine seama de acest efect introducînd *rezistenţa transversală efectivă* R_T în locul valorii reale. Această metodă este însă riguros exactă numai în regim permanent, dar poate fi folosită ca o aproximaţie şi pentru regimul tranzitoriu, în majoritatea cazurilor ce se ivesc în practică.

Rezistenţa transversală efectivă poate ajunge practic la de două sau de trei ori rezistenţa reală şi deci deplasarea poziţiei efective a periilor are un efect foarte pronunţat asupra caracteristicilor amplidinei. Creşterea rezistenţei transversale are ca urmare reducerea atît a factorului de amplificare K_u cît şi a constantei de timp T_T a circui-

tului transversal. Rezultatul este, în general, favorabil, deoarece reducerea constantei de timp a circuitului transversal este avantajoasă, iar amplificarea este în general suficientă chiar dacă este redusă puțin pe această cale.

Relația dintre amplificare și constanta de timp

În majoritatea aplicațiilor, este de dorit ca amplidina să aibă în același timp constante de timp reduse și factor de amplificare mare. Majoritatea modificărilor posibile, care servesc la reducerea constantelor de timp, au însă ca efect și reducerea amplificării. O metodă simplă de reducere a constantelor de timp constă în înserierea unei *rezistențe de balast* fie în circuitul bobinajului de comandă, fie în circuitul transversal. Rezultatul este o reducere a factorului de amplificare în tensiune K_u în același raport cu reducerea constantei de timp a circuitului conținînd rezistența de balast.

Multe alte schimbări în dimensionarea unei amplidine au un efect asemănător asupra ambelor mărimi, cu toate că, printr-o proiectare reușită, se pot realiza constante de timp reduse și, în același timp, amplificări ridicate, suficiente pentru cerințele practice. Este avantajos de a antrena mașina cu viteza cea mai ridicată posibilă din punct dc vedere mecanic, deoarece o creștere a vitezei mărește amplificarea fără a afecta în mod sensibil constantele de timp.

Efectul saturației

În mod normal, amplidina este astfel dimensionată, încît tensiunea generată în cursul funcționării în regim permanent să fie cu mult sub domeniul de saturație. Rezultă că teoria liniară, bazată pe ipoteza că nu există saturație, este cu totul satisfăcătoare pentru tratarea cazurilor obișnuite de regim permanent. Teoria liniară este de asemenea suficientă pentru studierea stabilității, care este legată în primul rînd de efectul unor mici modificări față de o stare permanentă. Pe de altă parte însă, în timpul regimurilor tranzitorii, cînd amplidina trebuie să realizeze un reglaj rapid și sensibil, excitația rezultantă a amplidinei poate ajunge la valori ce depășesc de mai multe ori valoarea normală și, din cauza saturației, tensiunea poate crește în acest caz numai într-o proporție mai redusă.

Caracteristica de mers în gol, reprezentînd relația dintre tensiunea de ieșire și curentul de comandă, are aceeași formă generală ca și curba de magnetizare a unui generator de curent continuu obișnuit. Curba unei amplidine se înclină însă mai brusc din cauza inter-

Scanned with OKEN Scanner

acțiunii dintre forțele magnetomotoare ale celor două axe, în cazul funcționării în domeniul de saturație. Saturația în polii și în dinții străbătuți de fluxurile utile $\frac{1}{2}(\Phi_T + \Phi_L)$ și $\frac{1}{2}(\Phi_T - \Phi_L)$ (v. fig. 1-2) apare din cauză că tensiunea principală, de ieșire, este înaltă. Dar aceasta cauzează în același timp o importantă creștere a amperspirelor necesare ale bobinajului de comandă, chiar dacă fluxul Φ_L este relativ scăzut. O caracteristică de mers în gol tipică a unei amplidine este reprezentată în fig. 1-14; curba reprezentată este media curbelor ciclului de histerezis.

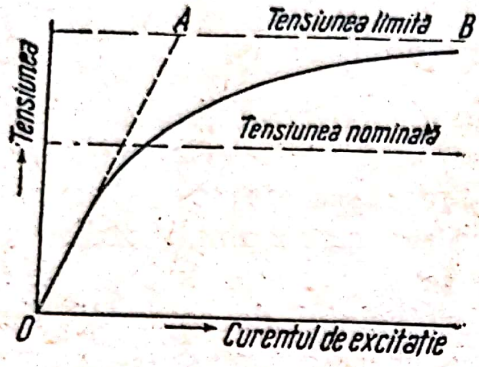


Fig. 1-14. Caracteristica de mers în gol a amplidinei.

O analiză exactă, bazată pe o caracteristică neliniară de acest gen, nu se poate realiza și se obișnuiește a se presupune că tensiunea amplidinei crește în cazul saturației pînă la o tensiune limită aproximativ constantă. Tensiunea limită este, de obicei, cu circa 50—80% mai mare decît tensiunea nominală, după cum se vede în fig. 1-14. În fapt, caracteristica se presupune ca fiind formată din două drepte OA și AB.

Atîta timp cît mașina este nesaturată, ecuațiile teoriei liniare pot fi folosite pentru analizarea sistemului de reglare. Dacă însă intervine o schimbare bruscă a comenzii, în timpul căreia amplidina poate fi solicitată, spre exemplu, să intensifice curentul de excitație al generatorului pe care-l excită, tensiunea are tendința de a crește la o valoare pentru care teoria liniară nu mai poate fi aplicată. Răspunsul sistemului poate fi determinat în acest caz considerînd că amplidina generează tensiunea constantă, limită, în timpul acestei perioade.

Este un procedeu foarte curent ca atunci cînd o amplidină lucrează ca excitatoare a unei mașini mai mari să se folosească o carcasă mult mai voluminoasă decît s-ar cere pentru regimul permanent. Prin aceasta se asigură o tensiune limită relativ înaltă, ceea ce determină o creștere rapidă a curentului de excitație al mașinii mari, la o modificare bruscă a comenzii.

Efectul curenților turbionari

Atunci cînd se cer caracteristici optime de răspuns la o amplidină, circuitul magnetic trebuie construit în întregime din tole, pentru

reducerea curenților turbionari. Cu toate acestea, dacă reducerea costului este un considerent important, mașinile se construiesc uneori și cu carcase sau poli din oțel masiv.

Cînd un circuit conductor de orice fel este cuplat inductiv cu un circuit magnetic în care fluxul variază, se induc curenți turbionari, care tind să întîrzie modificarea fluxului. Efectul se aseamănă cu acela al bobinajului suplimentar de excitație scurtcircuitat, prezentat anterior și se poate lua în considerație în mod aproximativ prin creșterea constantei de timp a bobinajului principal de excitație. Situația reală este de fapt mult mai complicată, deoarece curenții turbionari sînt distribuiți într-o masă de fier de permeabilitate variabilă și pot exista scăpări importante în raport cu bobinajul de excitație. Efectul este în orice caz dăunător și trebuie redus pe cît posibil.

Scanned with OKEN Scanner

2. CONSTRUCȚIA ȘI CARACTERISTICILE AMPLIDINEI ȘI METADINEI

K. F. RABY, M. A.

*Plant Engineering Dept., The British Thomson-Houston Co., Ltd.**)

S-a arătat mai sus, în introducerea acestei cărți, că termenii amplidină și metadină trebuie astăzi considerați ca denumiri comerciale individuale ale aceleiași mașini. Amplidina este brevetată și se fabrică în Marea Britanie de către British Thomson-Houston Co., Ltd.*) iar metadina de către Metropolitan-Vickers Electrical Co. Ltd**). Între produsele diverșilor constructori există diferențe de detaliu, dar acestea abia dacă depășesc în importanță deosebirile care se pot găsi între mașinile construite de același producător la date și în scopuri diferite. Prin urmare, este convenabil de a se trata amplidina și metadina împreună.

Miezul și carcasa statorului

În practică, generatorul cu cîmp transversal poate fi de construcția bipolară descrisă în capitolul precedent; dintr-o serie de considerente variate mașina poate să aibă însă și patru sau mai mulți poli. În realitate, majoritatea deosebirilor constructive derivă din dispoziția polilor și a semipolilor statorului. Se pot distinge trei moduri principale de a dispune polii:

1) semipoli aparenți separați, fixați pe o carcasă magnetică sau un jug lamelat (fig. 2-1);

2) poli aparenți separați, fixați pe o carcasă sau un jug lamelat, fiecare pol fiind secționat astfel, încît să formeze doi semipoli (fig. 2-2 a și 2-2 b);

3) inel complet lamelat, prevăzut cu crestături care conțin bobinajele statorice și servesc de asemenea pentru conturarea semipolilor (fig. 2-3).

---

*) Compania engleză Thomson-Houston, departamentul exploatare—uzine *(N.red.E.T.)*.

**) Compania de electricitate Metropolitan-Vickers *(N.red.E.T.)*.

În oricare din aceste dispoziţii se pot introduce poli auxiliari pentru a influenţa bobinajele indusului supuse comutaţiei, fie la periile circuitului de sarcină, fie la cele transversale, fie la ambele. Polii auxiliari pentru circuitul de sarcină sînt folosiţi frecvent şi sînt aşezaţi pe axa longitudinală. Polii auxiliari transversali sînt folosiţi mai rar şi, dacă există, ei sînt plasaţi pe axa transversală.

Maşina din fig. 2-1 este o maşină bipolară, avînd patru semipoli aparenţi şi doi poli auxiliari pe axa longitudinală. Semipolii sînt confecţionaţi din tole de tablă de oţel silicios de bună calitate, în scopul reducerii la minimum a efectului curenţilor

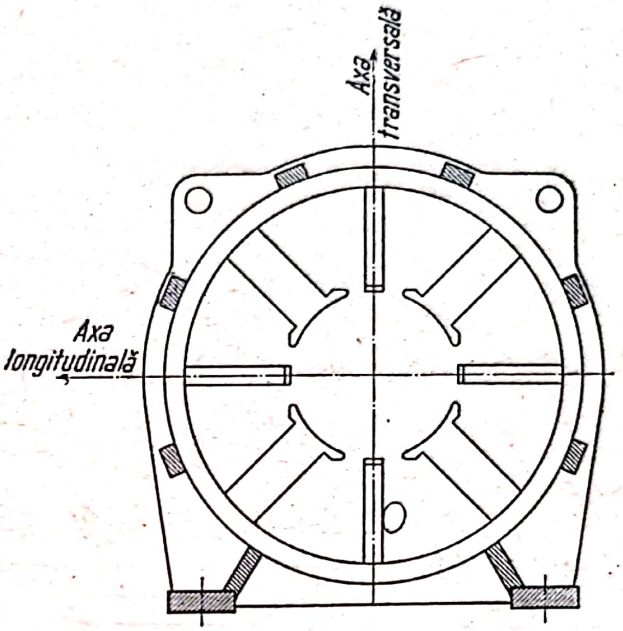


Fig. 2-1. Stator cu semipoli lamelaţi fixaţi pe un jug lamelat.

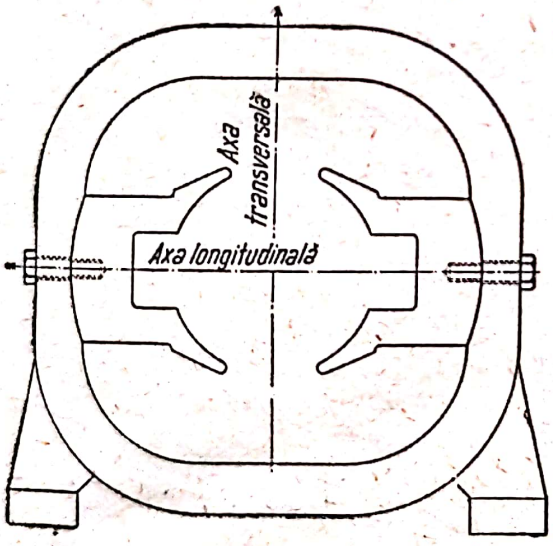


Fig. 2-2 a. Stator cu poli lamelaţi fixaţi pe o carcasă din oţel laminat.

turbionari şi al fenomenului de histerezis. Se va vedea că atît fluxul principal cît şi cel auxiliar trec prin jug, care trebuie confecţionat din tole de oţel silicios în cazul că se cere un răspuns exact şi rapid. Niturile cu care sînt asamblate tolele polilor trebuie să fie izolate, pentru a evita o altă sursă posibilă de atenuare prin curenţi turbionari.

Fig. 2-2 a reprezintă o maşină cu doi poli aparenţi, fiecare secţionat astfel, încît să formeze doi semipoli. Maşina nu are poli auxiliari. La acest tip de maşină este convenabil să se aranjeze lucrurile astfel, încît axa polilor aparenţi să fie axa longitudinală, deoarece în modul acesta bobinajele de comandă

Scanned with OKEN Scanner

și cel de compensare concentrat pot fi bobinate pe carcase ca în mașina de curent continuu obișnuită. Mai mult încă, jugul este străbătut numai de fluxul auxiliar, fluxul principal trecînd între semipoli, fără să pătrundă în jug. Prin urmare există posibilitatea de a se realiza o mașină cu performanțe adecvate pentru o serie de aplicații, folosind poli din tole, fixați pe o carcasă magnetică din oțel laminat sau turnat.

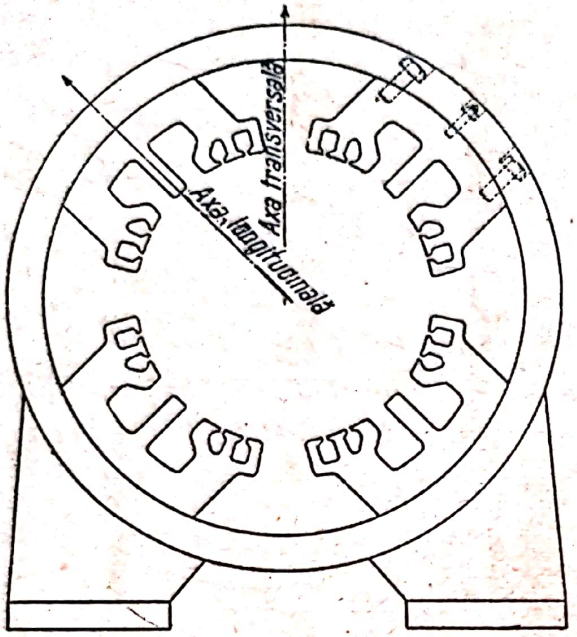


Fig. 2-2 b. Stator cu poli lamelați fixați pe o carcasă din oțel laminat.

Pentru aplicațiile care reclamă mai multă exactitate, se poate folosi o mașină de tipul celei reprezentate în fig. 2-2 b. La aceasta tolele ce formează polii aparenți (în număr de patru în cazul acestei mașini) sînt prevăzute cu crestături care conțin bobinajul de compensare repartizat, iar polii auxiliari sînt plasați pe axa longitudinală.

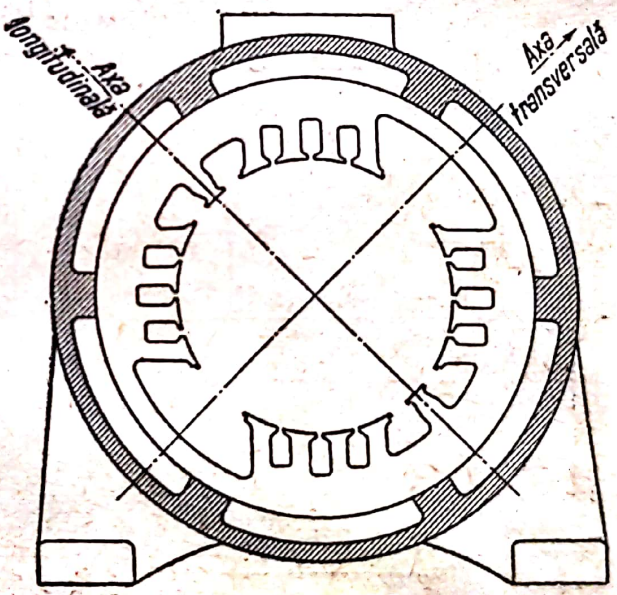


Fig. 2-3. Miez statoric din tole asamblate într-o carcasă de fontă turnată.

Fig. 2-3 reprezintă o construcție care este preferată de unii producători atît pentru asemănarea cu procedeul curent folosit la motoarele de inducție obișnuite (ceea ce poate fi un avantaj în fabricație) cît și pentru precizia inerentă a amplasării semipolilor și a ușurinței și siguranței cu care se poate realiza un întrefier uniform. Statorul constă din tole inelare ștanțate, asamblate în interiorul unei carcase turnate sau sudate și presate între tole marginale mai groase.

Întrefierul

Se poate demonstra*) că dacă celelalte condiţii sînt aceleaşi, criteriul de calitate al unui dinam amplificator cu un singur etaj

$$\frac{\text{Factorul de amplificare în putere}}{\text{Constanta de timp}},$$

este invers proporţional cu lăţimea întrefierului. Este deci de importanţă capitală ca întrefierul unui generator cu cîmp transversal, conţinînd două etaje de amplificare, să fie cît mai mic posibil. Reducerea întrefierului este limitată în practică de considerente privind distorsiunile admisibile ale fluxului, datorate unei compensări concentrate; dispoziţia mai complicată a unei compensări repartizate poate permite reducerea întrefierului la o valoare minimă, necesară mişcării rotorului (spre exemplu 0,020'' la un rotor cu diametrul de 11''**).

Bobinajele statorului

Funcţiunile diferitelor bobinaje care se pot găsi pe statorul unei amplidine sau metadine au fost explicate în cap. I. Realizarea practică a acestor bobinaje este determinată în mare măsură de formele constructive ale miezului statoric. Spre exemplu, fiecare bobinaj de pe un stator ca cel din fig. 2-1 este în mod obişnuit format din patru bobine aşezate fiecare în jurul unui semipol şi conectate conform fig. 2-4, pentru a produce efectul unui bobinaj bipolar pe una sau cealaltă dintre axe, după necesitate. Toate bobinele de pe un pol pot fi bobinate pe o singură carcasă formînd o singură bobină ca la o maşină de curent continuu obişnuită. În adevăr, un mare avantaj al acestui tip de generator cu cîmp transversal este faptul că construcţia statorului se aseamănă foarte mult cu aceea a unei maşini normale de curent continuu tetrapolare, cu excepţia jugului lamelat. Această asemănare este evidentă în fotografia din fig. 2-5.

O maşină cu doi poli aparenţi, secţionaţi pentru a forma semipoli (fig. 2-2 a) va avea bobinajul de comandă şi cel de compensare dispuse pe două carcase, cîte una în jurul fiecărui pol; un bobinaj pe axa transversală trebuie să cuprindă însă, din considerente

*) Valentin, A. „Les Dynamos Amplificatrices—L'Amplidyne". *Bulletin de la Société Française des Électriciens*, Seria 6, vol. VIII, nr. 82, iunie, 1948.

**) 1'' = 25,4 mm (*N.red.E.T.*).

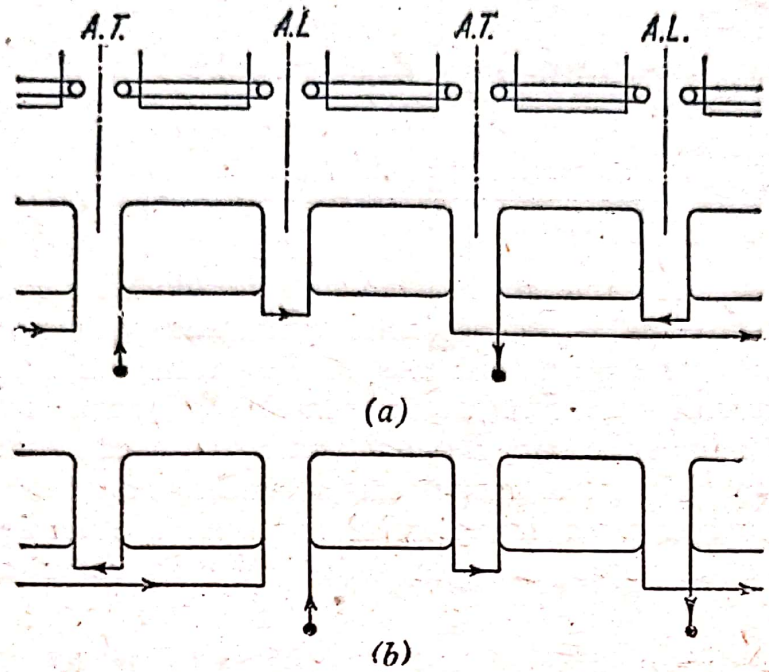


Fig. 2-4. Conexiunea a patru bobine pentru obținerea:
a — a bobinajului bipolar al axei longitudinale;
b — a bobinajului bipolar al axei transversale.

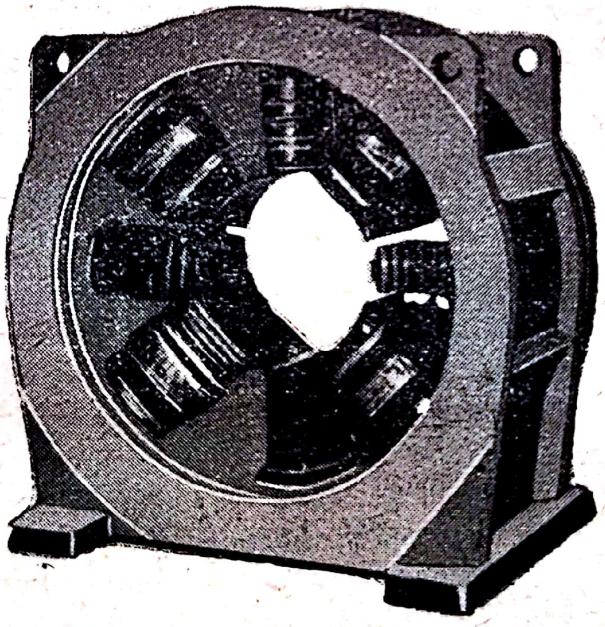


Fig. 2-5. Stator bobinat corespunzător fig. 2-1.
(Metropolitan Vickers Electrical Co. Ltd).

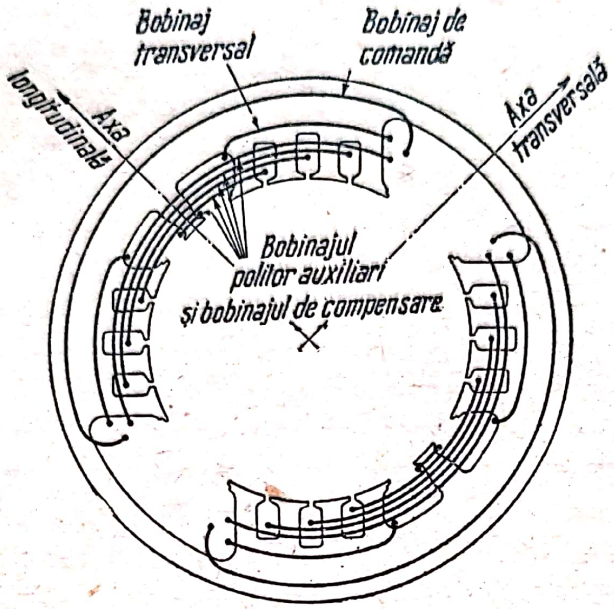


Fig. 2-6. Dispoziția bobinajelor pe statorul din fig. 2-3.

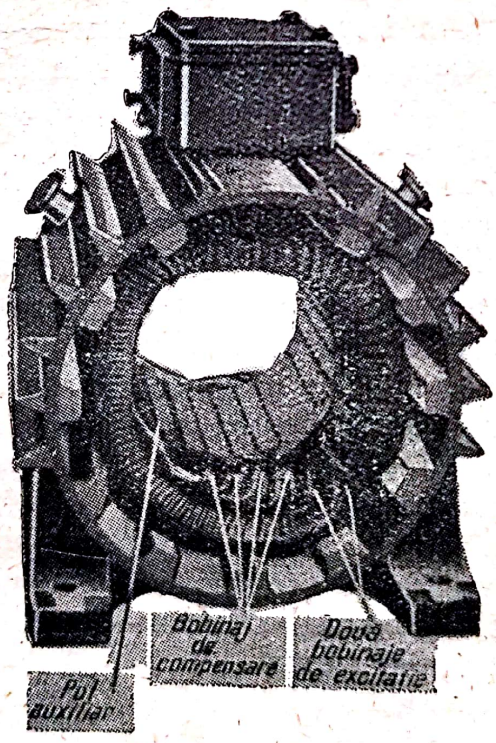


Fig. 2-7. Stator bobinat corespunzător fig. 2-3.
(British Thomson—Houston Co. Ltd.).

mecanice, patru bobine, cîte una în jurul fiecărui semipol, conectate ca în fig. 2-4 *b*.

Bobinajul de compensare repartizat al mașinii din fig. 2-3 cuprinde un ansamblu de 5 bobine concentrice pe fiecare pol, bobina interioară înconjurînd polul auxiliar, următoarele trei ocupînd crestăturile de pe fața semipolilor, iar bobina exterioară ocupînd crestăturile mari împreună cu bobinele bobinajului de comandă. Bobinajele de comandă sînt bobinaje bipolare normale, dar bobinajul de pe axa transversală este constituit din patru bobine, deoarece în spatele crestăturilor mari nu există spațiu suficient care să permită trecerea părților frontale ale bobinelor transversale, îndărătul bobinelor axei longitudinale. Dispoziția care rezultă este reprezentată schematic în fig. 2-6 iar în fig. 2-7 este dată o fotografie a unui astfel de stator, bobinat.

Normalizarea bobinajelor de comandă

Pentru majoritatea aplicațiilor practice, amplidina sau metadina este prevăzută cu mai multe bobinaje de excitație. Sînt posibile foarte multe variante în împărțirea spațiului total disponibil pentru excitație între diferitele bobinaje precum și în fixarea numărului de spire și a curentului maxim al fiecărui bobinaj în parte. Numărul diferitelor combinații este aproape nelimitat, și este de dorit de a se acorda inginerului, care se ocupă cu sisteme de reglare, libertate deplină în alegerea bobinajelor de excitație adecvate cazului particular considerat. În Statele Unite ale Americii numărul de amplidine produse este atît de mare, încît anumite dispoziții preferabile ale excitației au fost normalizate pentru aplicații curente, avînd în vedere posibilitatea ținerii mașinilor în stoc. În Marea Britanie, cererea de amplidine nu este suficientă pentru a justifica o politică de standardizare strictă și, în locul acesteia, a fost dezvoltat un sistem în care este normalizat aspectul fizic al bobinajului, în scopul ușurării fabricației, lăsînd în același timp proiectantului instalației destulă libertate să aleagă numărul și proporțiile bobinajelor de comandă. Pe scurt, spațiul disponibil pentru bobinajele de comandă din jurul fiecărui pol (considerat 100%) este divizat în bobine de 40, 30, 20 și 10%. Secțiunea și, în consecință, numărul de spire în fiecare bobină cum și interconectarea bobinelor pot fi alese după dorință pentru a se forma un număr de excitații mergînd pînă la patru. În plus, este posibil de a se executa (spre exemplu) cele două bobine ce ocupă 40% ale unei mașini bipolare ca două bobinaje identice, separate,

Scanned with OKEN Scanner

fiecare din ele putînd fi de fapt confundat cu un bobinaj normal bipolar care ocupă 20% din spațiul total. Pe calea aceasta, sau pe altele asemănătoare, se obține o largă gamă de caracteristici electrice, păstrînd în același timp dimensiunile bobinei și ale șablonului, dispoziția bobinelor în crestături etc., în întregime, în limita standardului.

Metodele de bobinare și de izolare a statoarelor amplidinei și metadinei urmăresc îndeaproape tehnologia obișnuită a mașinilor de aceeași mărime, bobinate în crestături sau pe carcase și, în consecință, nu necesită explicații mai detaliate.

Indusul

Indusul unei amplidine sau metadine nu diferă prin nici o particularitate, mecanică sau electrică, de acela al unei mașini de curent continuu obișnuite, avînd același număr de poli. Întrefierul mai mic și zona de comutație mai îngustă ale mașinii cu cîmp transversal conduc respectiv la alegerea unor deschideri mai mici la crestătura indusului și a unui număr mai mare de crestături, dar bobinajul indusului ondulat sau buclat, aproximativ cu pas diametral, este în orice caz cel obișnuit.

Portperiile

În orice mașină de curent continuu, decalajul periilor produce un efect de compundare serie. Prin decalarea în avans, adică prin deplasarea în direcția rotației indusului, sensul forței electromotoare generate în indus datorită acestei compundări este astfel, încît să mărească rezistența aparentă a indusului în regim permanent. Din contra, o decalare în urmă reduce rezistența efectivă. Deci, într-un generator de curent continuu, o decalare în avans a periilor mărește amperspirele necesare unei puteri de ieșire date, prin creșterea căderii de tensiune în sarcină. Este clar că efectul va fi cel mai pronunțat dacă mașina lucrează cu tensiune redusă și la plină sarcină — condiții îndeplinite cu prisosință în primul etaj al unui generator cu cîmp transversal, care funcționează de fapt în scurtcircuit. S-a mai menționat influența poziției periilor cînd s-a discutat deplasarea inevitabilă a centrului efectiv al periilor, fenomen ce are loc la periile transversale, cînd nu sînt prevăzuți poli auxiliari transversali.

Se observă, așa dar, că decalarea în avans a periilor transversale ale unei amplidine determină o amplificare redusă la mersul în

Scanned with OKEN Scanner

gol (forța electromotoare de ieșire raportată la amperspirele de comandă) și că decalarea în avans a periilor de sarcină mărește căderea de tensiune în sarcină, în regim permanent, efectul poziției periilor transversale fiind însă cel mai pronunțat. În regim tranzitoriu, fenomenele sînt mai complicate, dar ideea unei rezistențe aparente mărite rămîne aproximativ valabilă, cu condiția ca decalarea periilor să fie mică. Din considerațiile de mai sus rezultă că aranjarea poziției periilor oferă un mijloc simplu pentru ajustarea caracteristicilor unui generator cu cîmp transversal. Periile de sarcină și cele transversale pot fi montate pe coliere separate, pentru a permite o ajustare independentă, dar pentru multe aplicații, un singur colier, comun pentru periile de sarcină și cele transversale oferă posibilități suficiente de reglare. Cînd se cere o ajustare independentă și deosebit de precisă a caracteristicilor de mers în gol și externe, o soluție mai bună constă în folosirea unor rezistențe transversale și de șuntare, așa cum se va arăta în paragrafele următoare.

Mai trebuie arătat că pentru a obține caracteristici stabile, dimensionarea mecanică a portperiilor trebuie să asigure o poziție neschimbată a periilor în orice condiții. Modificări incidentale în așezarea periilor, datorite unor ușoare mișcări a periilor în interiorul locașului periei, pot cauza deplasări relativ mari ale centrului efectiv al periei și pot provoca variații importante ale caracteristicilor mașinii. Tipul de portperie în consolă, în care peria este ținută permanent în contact cu una din fețele suportului prin apăsarea unui resort, a fost folosit la unele tipuri de amplidină cu rezultate excelente.

Chiar dacă au fost luate toate precauțiile, comportarea unui generator cu cîmp transversal rămîne totuși mai puțin precisă decît aceea a unui generator de curent continuu obișnuit. Variațiile întîmplătoare ale mărimilor de ieșire depind de factorul de amplificare și adesea este necesar, în scopul obținerii unei preciziuni raționale, să se lucreze cu o amplificare mai scăzută de cît s-ar putea atinge în mod teoretic. Totuși, precizia absolută nu este indispensabilă, deoarece generatorul cu cîmp transversal este folosit, în general, în sisteme de reglare cu circuit închis, în care mici variații ale caracteristicilor amplificatorului nu afectează în mod apreciabil mărimea controlată.

Periile folosite la generatoarele cu cîmp transversal sînt de obicei mai subțiri decît cele ale generatoarelor de curent continuu obișnuite de mărime și viteză de rotație similare. Aceasta se datorește întinderii mai reduse a zonei de comutație, deoarece (de exemplu, în cazul unei mașini bipolare) trebuie adaptate patru zone în loc

de două, căutînd în același timp să se mențină un raport economic între arcul și pasul polar.

În alegerea durității periilor pentru un generator cu cîmp transversal se adoptă o soluție de compromis. La sarcina nominală condițiile de comutație, atît la periile de sarcină cît și la cele transversale, sînt de obicei destul de grele, datorită zonei de comutație reduse, întrefierului îngust (care determină pulsații ale fluxului magnetic cu multiplii ai frecvenței crestăturilor indusului) cum și datorită eventualei lipse a polilor auxiliari pe axa transversală. Pe de altă parte, o cădere de tensiune de contact prea ridicată la periile transversale va cauza neliniaritatea caracteristicilor de mers în gol la excitații slabe. În interesul unei funcționări satisfăcătoare și al unei întrețineri convenabile, este de dorit să se folosească perii de aceeași duritate atît pentru periile de sarcini cît și pentru cele transversale și anume, de o duritate medie, ca cele folosite obișnuit la motoarele de curent alternativ cu colector, care s-au dovedit a fi potrivite pentru majoritatea mașinilor cu cîmp transversal. Exemple tipice sînt Morganite EG.8101 și EG.8866-S.*)

Exactitatea compensării; utilizarea rezistenței de șuntare

În scopul realizării unui generator cu cîmp transversal avînd într-adevăr caracteristici de tensiune constantă, reacția indusului datorită curentului de sarcină trebuie compensată foarte precis. Exemplul următor dă o imagine asupra gradului de precizie necesar.

O amplidină industrială tipică de 2,5 kW, funcționînd la 200 V și 12,5 A, necesită o forță magnetomotoare utilă de aproximativ 18 A · sp/pol pe axa longitudinală pentru ca să producă o forță electromotoare de 235 V, corespunzînd sarcinii nominale. Numărul efectiv de spire pe pol ale bobinajului indusului, pe axa longitudinală, este de aproximativ 60; deci, reacția indusului la sarcina nominală, care trebuie compensată de către bobinajul de compensare, este $60 \times 12{,}5 = 750$ A · sp/pol. Dacă bobinajul de compensare are de exemplu, numai 59 spire pe pol, forța sa magnetomotoare la sarcina nominală va fi $59 \times 12{,}5 = 737{,}5$ A · sp/pol și forța magnetomotoare totală care trebuie produsă de bobinajul de comandă va fi

$$18 + (750 - 737{,}5) = 30{,}5 \text{ A} \cdot \text{sp/pol.}$$

*) Se pot recomanda mărcile sovietice **ЭГ4**, **ЭГ8**, **ЭГ14** (perii electrografitate de duritate medie). *(N. red. ET).*

La mersul în gol, cu același curent de excitație, forța magnetomotoare utilă de-a lungul axei longitudinale va deveni 30,5 A · sp/pol, producînd o forță electromotoare de 275 V.

Deci, o diferență de o singură spiră pe pol în bobinajul de compensare introduce o diferență de tensiune de 40 V în această mașină de 200 V. În practică, se poate ca bobinajul de compensare să varieze în trepte mai mici decît o spiră efectivă pe pol, deoarece bobinajul poate avea mai mulți poli în paralel, și în plus, dacă spirele reale sînt distribuite pe mai multe bobine concentrice, spira unei bobine interioare are un efect mai scăzut decît o spiră ce cuprinde polul întreg. Pe această cale reglajul poate fi predeterminat cu suficientă precizie pentru majoritatea aplicațiilor, iar micile variații, provenite din impreciziile de fabricație, cum ar fi o ușoară asimetrie a întrefierului sau o imprecizie a distanțării periilor, nu au consecințe sensibile.

Există însă unele utilizări pentru care este necesar un control mai riguros al caracteristicii externe. Cînd mașina cu cîmp transversal constituie ea însăși generatorul dintr-un sistem Ward—Leonard, este de dorit ca ea să fie compensată cît mai exact posibil, astfel încît viteza motorului, pentru o valoare dată a cîmpului de excitație a generatorului, să fie aproape independentă de sarcină. Pe de altă parte, o caracteristică crescătoare a generatorului poate face ca rezistența efectivă totală a circuitului, cuprinzînd indusul generatorului și al motorului, să devină nulă, producînd o autoexcitare sau oscilații necontrolate.

Prin urmare, este de dorit să existe o posibilitate de ajustare a caracteristicii unei mașini gata construite. Deplasarea periilor de sarcină nu este un mijloc prea convenabil, deoarece fiecare ajustare modifică așezarea periilor și trebuie să se lase timpul necesar periilor de a se fixa bine din nou în portperii, înainte de a se verifica corectitudinea caracteristicii. La mașinile mici, la care numărul total de spire de compensare este mare, pot da trepte suficient de fine pentru reglare, fie derivații executate pe bobinajul de compensare, fie un bobinaj suplimentar, care poate fi conectat în același sens sau în opoziție cu bobinajul principal.

Mașinile mai mari se obișnuiește să fie dimensionate cu o ușoară supracompensare și să se introducă o rezistență de șuntare. Pentru ca rezistența de șuntare să lucreze suficient de corect în regim tranzitoriu, constanta de timp

$$\frac{\text{Inductanța bobinajului de compensare}}{\text{Rezistența de șuntare}}$$

trebuie să fie mult mai mică decît constanta de timp a circuitului transversal. Prin aceasta se limitează gradul de șuntare, adică raportul

$$\frac{\text{Conductanța rezistenței de șuntare}}{\text{Conductanța bobinajului de compensare}}$$

$= \frac{R_k}{R_s} \ll 0{,}03$

la maximum 3%. Folosind o rezistență semivariabilă, bobinată, de dimensiuni reduse, ca rezistență de șuntare, gama de reglaj practicabilă este de circa 4 : 1, așa încît gradul de șuntare minim, cu rezistența întreagă, este de ¾%. Pentru aceasta, mașina este dimensionată cu o supracompensare de 1,25+2%, pentru a permite ajustarea în ambele sensuri.

Uneori este folosită o valoare mai mare a gradului de șuntare, cu sau fără inductanță suplimentară înseriată cu rezistența de șuntare, pentru a produce o mașină cu caracteristici tranzitorii speciale.

Dacă gradul de șuntare procentual are valoarea redusă uzuală, disipația de căldură în rezistență este de numai cîțiva wați sau cîteva zeci de wați, chiar pentru o mașină mare. Deci, rezistența nu trebuie să fie mai voluminoasă decît este necesar din considerente privind robustețea sau posibilitatea unui reglaj fin. Această rezistență este montată, de obicei, în cutia de borne sau în apropierea ei.

Rezistența în circuitul transversal

S-a amintit mai sus despre folosirea unei rezistențe balast legate în serie în circuitul transversal, în scopul reducerii factorului de amplificare și a constantei de timp transversale, în același raport. Această rezistență poate fi de același tip semivariabil, ca și rezistența de șuntare, dar disipația de căldură în rezistența transversală este mult mai mare și deci trebuie folosită o rezistență mai voluminoasă, montată într-o cutie bine ventilată sau, uneori, plasată în curentul aerului de ventilație, în interiorul mașinii.

Așa cum rezistența de șuntare permite o ajustare comodă a caracteristicii externe, tot așa și amplificarea se poate regla mai comod printr-o rezistență în circuitul transversal decît prin deplasarea periilor transversale. Acest avantaj este folosit din plin în cazul

adoptării unei rezistențe în circuitul transversal, cu toate că ea este rareori introdusă anume în acest scop.

În fig. 2-8 este reprezentată o mașină avînd o rezistență de

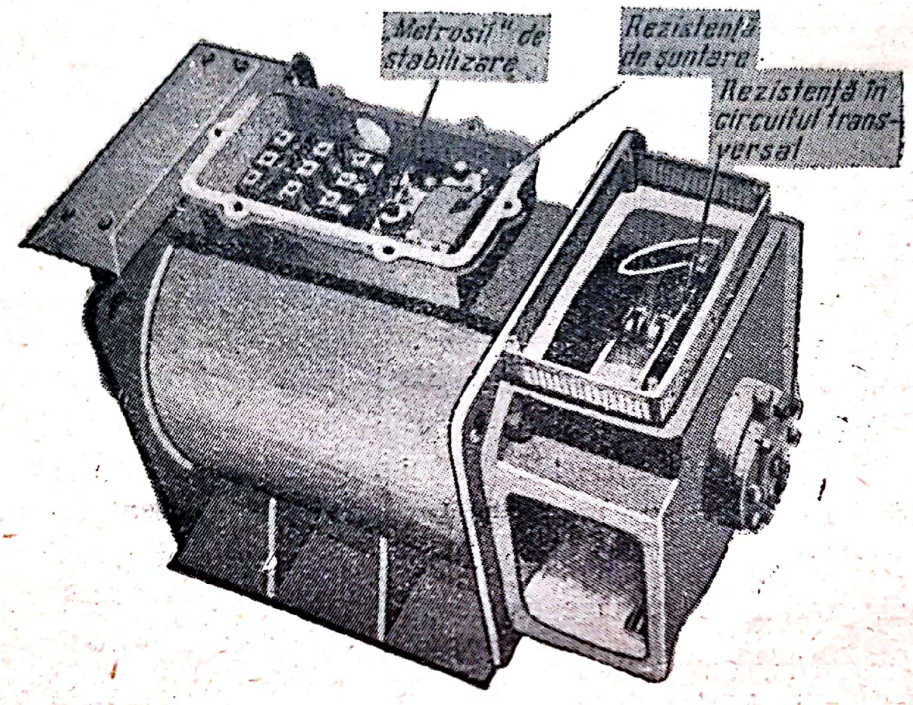


Fig. 2-8 Fotografie a unei amplidine, în care se vede rezistența de șuntare și rezistențele transversale.
(British Thomson—Houston Co. Ltd).

șuntare integrată în cutia de borne și o rezistență balast înăuntrul scutului de la extremitatea opusă acționării.

Fenomenul de histerezis

Curba de magnetizare în gol a unui generator cu cîmp transversal (linia plină din fig. 2-9) reprezintă ciclul de histerezis obișnuit, la care tensiunea de ieșire, pentru un curent de excitație dat, este mai mare cînd curentul scade decît atunci cînd crește. Lățimea ciclului și valoarea tensiunii remanente la curentul de excitație nul sînt mai mari decît la un generator de curent continuu obișnuit, deoarece orice flux principal remanent necompensat este echivalent cu un flux remanent pe axa longitudinală, al cărui efect este ulterior amplificat în cele două etaje ale mașinii cu cîmp transversal. Curbura

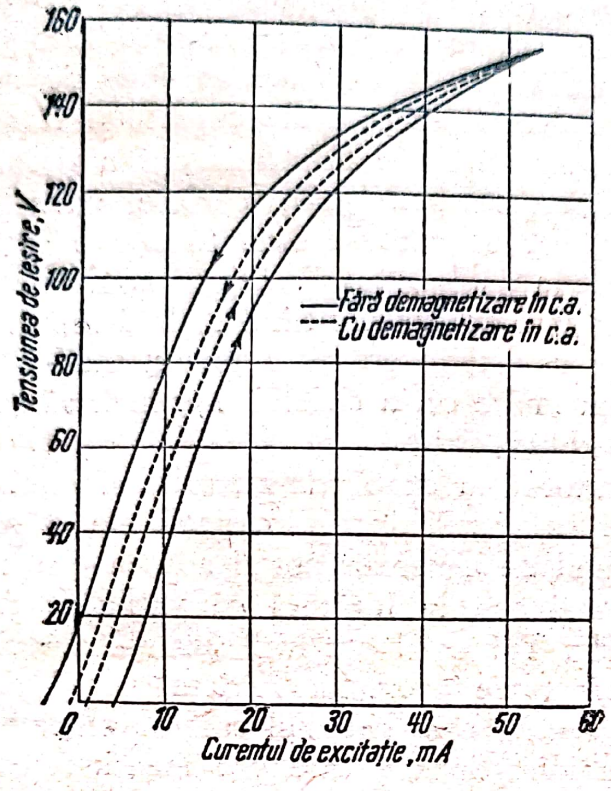


Fig. 2-9. Curbe de mers în gol ale unei amplidine de 100 V, 0,66 kW.

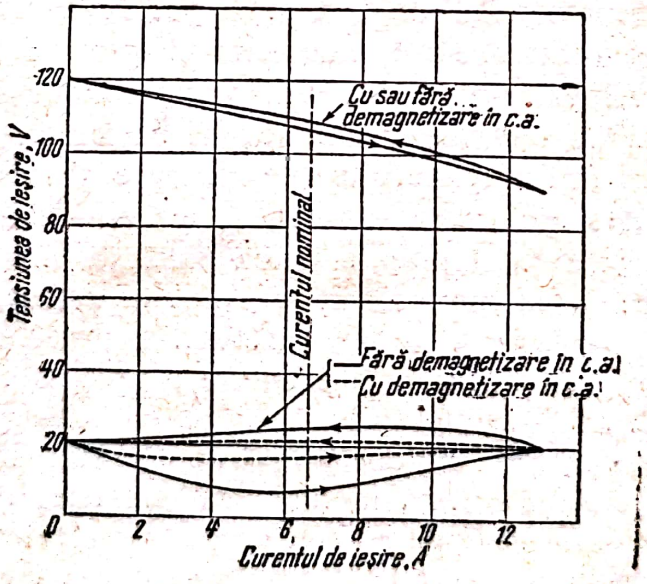


Fig. 2-10. Caracteristici externe ale unei amplidine de 100 V, 0,66 kW.

inversă a caracteristicii la tensiuni mici, care este o proprietate obișnuită a curbei de magnetizare a mașinii cu cîmp transversal, se datorește naturii neliniare a căderii de tensiune de contact la periile transversale, pentru valori scăzute ale curentului transversal.

Influența fenomenului de histerezis apare și în forma caracteristicilor externe, reprezentate prin curbele pline din fig. 2-10. Înaintea citirii datelor pe care se bazează aceste curbe, curentul de sarcină a fost mărit la dublul valorii sarcinii nominale și redus la zero de cîteva ori, rezistența de șuntare fiind reglată astfel, ca să se obțină aceeași tensiune la mersul în gol și la dublul sarcinii nominale, după parcurgerea de mai multe ori a ciclului, așa încît să se atingă condiții permanente în regimul ciclic.

Dacă generatorul cu cîmp transversal formează o parte a unui sistem de reglare cu circuit închis, variații ale caracteristicilor sale datorite fenomenului de histerezis pot fi adesea tolerate, pentru motivele menționate mai sus, în legătură cu variațiile datorite monturii neprecise a periilor. Tulburări pot însă surveni datorită unei tensiuni remanente ridicate (spre exemplu, „tîrîrea" unui sistem la poziția de reglaj nul) în special cînd sistemul conține redresoare sau dispozitive electronice unidirecționale, care pot menține precizia sistemului numai atîta timp cît alimentarea excitației generatorului este pozitivă. Mai mult, variațiile mari în panta caracteristicii externe în porțiunea de tensiune joasă pot cauza tulburări în sistemele sensibile.

Efectele fenomenului de histerezis pot fi reduse prin alegerea corespunzătoare a materialului magnetic și prin tratamentul termic (recoacere) în timpul producției. Ele vor fi mai pronunțate într-o mașină cu jugul de oțel moale sau turnat decît într-una cu circuitul magnetic compus în întregime din tole recoapte din oțel silicios.

O cale foarte eficace de reducere a lățimii ciclului caracteristicii de mers în gol și externe este folosirea unui „bobinaj de demagnetizare". Un astfel de bobinaj constă din bobine plasate în jurul semipolilor statorului, conectate ca să formeze atîția poli, cîți semipoli are mașina cu cîmp transversal și alimentate astfel cu curent alternativ, încît să producă un flux alternativ. Rezultă, că bobinajul de demagnetizare al unui generator cu doi poli este un bobinaj cu patru poli și ca atare nu are inductanță mutuală cu nici unul dintre bobinajele bipolare ale generatorului, pe ambele axe și nu afectează în mod sensibil funcționarea normală. Forța magnetomotoare alternativă a acestui bobinaj este mică în comparație cu forța magnetomotoare după axa transversală, dar face ca punctul de lucru al materialului să treacă de-a lungul unor cicluri de histerezis mai mici, ale căror centre cad

pe o curbă ce formează un ciclu mai îngust de cît cel normal de histerezis al materialului*).

Bobinajul de demagnetizare este alimentat de la reţeaua de curent alternativ printr-o rezistenţă balast serie sau, uneori, de la un generator de curent alternativ cu magnet permanent, construit într-o carcasă comună cu maşina cu cîmp transversal. Acest generator de curent alternativ este foarte mic în comparaţie cu maşina principală şi construcţia sa este extrem de simplă deoarece nu interesează forma undei rezultante, care poate fi şi distorsionată sau cu vîrfuri.

Prin liniile întrerupte din fig. 2-9 şi 2-10 sînt reprezentate ciclurile de lăţime redusă, obţinute prin folosirea bobinajului de demagnetizare. Aceste curbe se referă la o maşină cu circuitul magnetic în întregime din tole; demagnetizarea în curent alternativ este mai puţin eficace în cazul prezenţei unor părţi de oţel masiv, din cauza atenuării fluxului alternativ de către curenţii turbionari ce se induc în materialul masiv.

Un alt dispozitiv interesant a fost folosit de firma Alsthom din Franţa pentru a reduce efectul fenomenului de histerezis**). Acest „corector de histerezis" („correcteur d'hystérézis") este, de fapt, o formă simplă de amplificator magnetic. Mărimea de intrare a amplificatorului este diferenţa dintre curentul de comandă al amplidinei şi un curent proporţional cu tensiunea de ieşire a amplidinei. Mărimea de ieşire a amplificatorului, a cărui polaritate reversibilă este în concordanţă cu semnul diferenţei de la intrare, se aplică unui bobinaj de excitaţie corector de pe axa longitudinală a amplidinei. Termenul „corector de histerezis" spune de fapt prea puţin, deoarece aplicarea la amplidină, în circuit închis, a unei reacţii amplificate, are ca efect reducerea atît a variaţiilor de caracteristică datorate fenomenului de histerezis, cît şi celor datorate modificărilor accidentale în aşezarea periilor, variaţiilor de viteză sau oricăror altor cauze.

Mărimi, puteri şi caracteristici de funcţionare

Cu rare excepţii, puterea de ieşire în regim permanent a generatoarelor cu cîmp transversal produse în prezent variază de la cîteva sute de waţi la zeci de kilowaţi, predominînd valorile între 0,5 şi

*) V. de exemplu, „Ferromagnetism" de R. M. Bozorth. D. Van Nostrand Company, New York şi Londra, 1951, fig. 11—66, pag. 548.

**) Valentin, A. „l'Amplydine et ses applications". *Revue d'Eléctricité et de Mecanique,* iulie-august-septembrie, 1948.

2,5 kW. Ca indicație aproximativă se poate spune că puterea unei mașini cu cîmp transversal este aproximativ egală cu jumătate din puterea unui generator de curent continuu obișnuit, avînd aceleași dimensiuni ale indusului și aceeași viteză. Aceasta se explică prin gradul mai scăzut de saturație necesar într-un generator cu cîmp transversal, care, ca element al unui sistem de reglare trebuie să aibă caracteristici suficient de liniare. Dacă, pentru a produce schimbări rapide de curent într-o sarcină inductivă, mașina cu cîmp transversal este destinată să aibă o tensiune limită mult peste valoarea sa de regim, este evident că sînt necesare anumite modificări.

În afara saturației reduse, puterea redusă a mașinii cu cîmp transversal se datorește mai ales raportului mai scăzut dintre arcul și pasul polar și condițiilor mai dificile de comutație. Nu numai puterea de ieșire a mașinii cu cîmp transversal se reduce direct proporțional cu micșorarea vitezei; în plus, excitația necesară pentru puterea de ieșire redusă se mărește, dar nu chiar invers proporțional cu viteza, cum s-ar părea dintr-o simplă analiză a unei mașini cu două etaje. Diferența este cauzată de comportarea anormală a acelei părți a rezistenței aparente totale a circuitului transversal, care se datorează deplasării centrului efectiv al periilor, așa cum s-a arătat mai sus. În consecință, trebuie să se asigure mașinii cu cîmp transversal o viteză de rotație cît se poate de ridicată. Viteza obișnuită pentru mașini industriale acționate de motoare de curent alternativ de 50 Hz, este 1 500 rot/min, dar în multe echipamente mobile ale serviciilor armatei se folosește turația de 3 000 rot/min. Urmările grave ale vitezei reduse reclamă o examinare specială, atunci cînd mașina cu cîmp transversal trebuie să lucreze în legătură cu o mașină principală, sau cu un grup principal de excitație, cu viteză de rotație scăzută. Deși procedeul curent este cuplarea directă, în cazul unei excitatoare pilot de curent continuu normale, acceptînd o oarecare creștere a dimensiunilor carcasei în interesul simplității și al siguranței în funcționare, în cazul mașinii cu cîmp transversal se va prefera folosirea unui angrenaj ridicător de viteză sau a unui motor de acționare separat, pentru a evita o înrăutățire excesivă a caracteristicilor.

Constantele de timp

Pentru aplicațiile normale, la care nu se cere un răspuns extrem de rapid, se prevede în mod obișnuit un bobinaj statoric transversal pentru a reduce curentul transversal corespunzător unei forțe electromotoare date, reducîndu-se prin aceasta încălzirea indusului și îmbu-

Scanned with OKEN Scanner

nătățindu-se condițiile de comutație. Numărul de spire ale bobinajului transversal este adesea aproximativ egal cu numărul efectiv de spire ale bobinajului indusului după axa transversală, iar rezistența bobinajului este apropiată de rezistența efectivă a indusului (inclusiv rezistența aparentă introdusă de deplasarea centrului efectiv al periilor). În această situație constanta de timp transversală este de obicei 0,1÷÷0,15 s.

Lipsa bobinajului transversal reduce inductanța circuitului transversal la un sfert și rezistența la jumătate, în consecință, constanta de timp se micșorează la jumătate. Amplificarea este neschimbată, de vreme ce într-un circuit cu rezistența pe jumătate, este necesar un curent transversal dublu. Valoarea de regim permanent a tensiunii de ieșire trebuie redusă în oarecare măsură, dar vîrfuri atingînd tensiunea limită se admit, dacă au durată scurtă. Caracteristici intermediare se obțin folosind un bobinaj transversal avînd un număr de spire mai mic decît numărul efectiv de spire ale indusului.

În orice caz, se poate introduce o rezistență de balast în circuitul transversal, pentru a reduce constanta de timp a circuitului transversal, fără reducerea puterii de ieșire, dar cu o reducere proporțională a amplificării. Reducerea constantei de timp prin acest mijloc este limitată în practică, de unele considerente, la aproximativ de trei ori.

Constanta de timp a unui bobinaj de comandă ocupînd întreg spațiul de bobinaj disponibil, este de ordinul a 0,25—0,5 s și puterea de excitație corespunzătoare pentru puterea de ieșire nominală, variază între mai puțin de o zecime de watt pentru mașini mici, pînă la aproximativ 1 W, pentru o mașină de 20 kW. (Aceste valori se referă la mașini tipice, total compensate; puterea absorbită este mult mai mare dacă se utilizează subcompensarea pentru obținerea caracteristicii de curent constant. Pe de altă parte, puteri de excitație mai mici și constante de timp mai reduse decît cele arătate mai sus pot fi obținute în mașinile cu întrefier deosebit de mic și cu o dispoziție specială a bobinajelor.)

Ca și în cazul circuitului transversal, constanta de timp a bobinajului de comandă scade dacă rezistența circuitului este mărită, fie prin reducerea secțiunii conductoarelor, fie prin adăugarea unei rezistențe de balast în serie, mărindu-se concomitent puterea de excitație, în aceeași măsură.

O particularitate a mașinii cu cîmp transversal este că, datorită valorii reduse a forței magnetomotoare utile și a spațiului disponibil pentru

bobinaje relativ mare, suma aritmetică a forței magnetomotoare individuale ale diferitelor bobinaje de excitație poate depăși cu mult rezultanta lor algebrică, adică forța magnetomotoare la care răspunde mașina. Spre exemplu, amplidina de 2,5 kW din exemplul precedent poate fi înzestrată cu un bobinaj de excitație de referință, dînd +250 A · sp/pol și un bobinaj de reacție, care la puterea de ieșire nominală realizează —232 A · sp/pol, iar diferența de 18 A · sp/pol este suficientă pentru a produce puterea de ieșire nominală. Fiecare din aceste bobinaje ocupă cîte 25% din spațiul total, deci mai rămîne 50% din spațiu pentru bobinaje conectate în circuitele de limitare, stabilizare etc. Avantajul unui asemenea aranjament de excitații opuse diferențial este pe larg explicat în cele ce urmează.

Detalii privind construcția mecanică

Construcția mecanică a generatoarelor cu cîmp transversal urmează îndeaproape pe cea a mașinilor obișnuite și, în adevăr, repere ale seriilor normalizate de mașini de curent alternativ sau continuu sînt adesea înglobate în construcția lor. Din cauza importanței menținerii unui întrefier mic și uniform, ele sînt construite totdeauna ca mașini cu două lagăre, avînd de obicei rulmenți cu bile sau role.

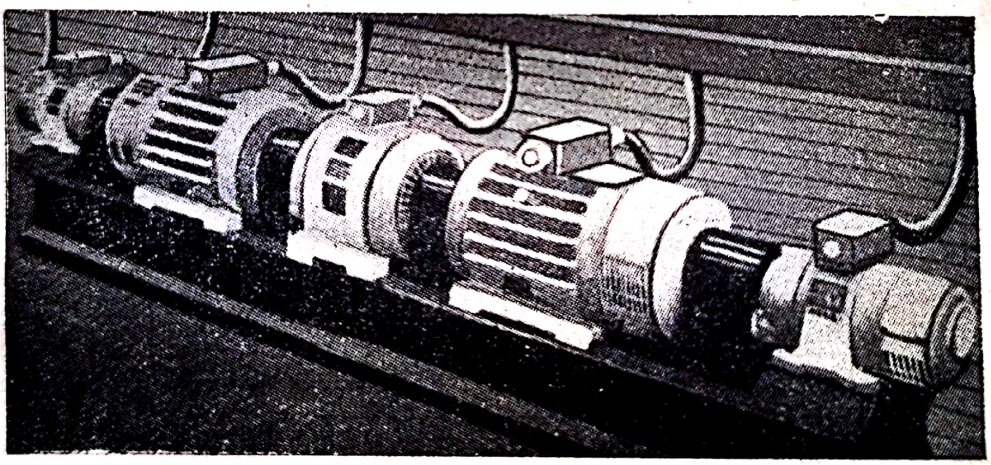


Fig. 2-11. Grup tipic de amplidină și excitatoare amplificatoare pentru un laminor reversibil.
(British Thomson—Houston Co. Ltd.).

Datorită modului de utilizare, ele sînt frecvent combinate în agregate formate din mai multe unități, ca acela din fig. 2-11. Adesea întregul mod de funcționare al unei mari instalații industriale depinde de

un astfel de agregat și pentru a se ușura înlocuirea economică a unei mașini defecte, cu un minimum de întrerupere a producției, cuplajele flexibile dintre mașini sînt de un tip special (spre exemplu Wellman-Bibby) care permite decuplarea oricărei mașini și scoaterea ei din agregat, fără deplasarea celorlalte.

Agregate conținînd un generator cu cîmp transversal și motorul său de acționare, cu statoarele într-o carcasă comună și rotoarele pe un arbore comun cu două lagăre, se folosesc de asemenea în unele cazuri, mai ales în serviciile de exploatare.

Scanned with OKEN Scanner

3. ÎNCERCAREA ŞI ÎNTREŢINEREA AMPLIDINEI ŞI A METADINEI

K. F. RABY, M. A.
Plant Engineering Department, The British Thomson-Houston Co. Ltd.

Încercările generatorului cu cîmp transversal vor fi descrise în acest capitol mai ales cu referire la cele efectuate în mod obişnuit pe fiecare maşină înainte de ieşirea ei din uzina producătoare. Această schiţare a încercărilor normalizate poate servi ca punct de plecare pentru cercetări mai detaliate — de exemplu, într-un laborator universitar — şi va indica natura probelor de bază care se pot efectua pe maşinile prezentînd perturbări în funcţionare.

Primul obiectiv al incercărilor obişnuite pe care le face constructorul este acela de a verifica dacă maşina a fost corect construită, în concordanţă cu instrucţiunile proiectantului şi dacă nu prezintă defecte de natură electrică sau mecanică. În plus, în cursul încercărilor, se pot face mici ajustări pentru a aduce caracteristicile maşinii mai aproape de performanţele stabilite. Aceasta se referă în special la maşina total compensată, cu caracteristică de tensiune constantă şi acest tip va fi în special avut în vedere în cele ce urmează. Caracteristicile unei maşini subcompensate, cu caracteristică de curent constant de-a lungul domeniului normal de funcţionare, sînt aproape complet determinate de particularităţile constructive şi sînt numai puţin afectate de inexactităţile mărunte de fabricaţie. Totuşi, aceleaşi principii generale de încercare se aplică şi la aceste maşini, aşa încît partea ce urmează trebuie citită în legătură cu un paragraf ulterior, care indică modificările necesare în cazul maşinii subcompensate.

Precauţii generale

În scopul obţinerii unor rezultate sigure şi precise la încercările generatorului cu cîmp transversal, este necesar să se acorde o atenţie deosebită anumitor aspecte ale procedeului de încercare. O foarte mare importanţă o prezintă ajustarea îngrijită a periilor. Din cele

Scanned with OKEN Scanner

arătate anterior cu privire la efectul poziției periilor asupra caracteristicilor unei mașini cu cîmp transversal, reiese că rezultatele încercărilor nu au nici o valoare dacă periile nu sînt bine fixate și ajustate. Pentru a obține aceste condiții într-un timp acceptabil, se aplică pe colector o piatră abrazivă moale (produsă anume în acest scop) în timp ce mașina este rotită cu viteza nominală cu periile lăsate în jos, după ce au fost în prealabil ajustate în mare, în modul obișnuit, folosind hîrtie abrazivă. Cînd examinarea suprafețelor de contact arată că periile sînt bine ajustate pe toată suprafața lor, granulele și praful de cărbune trebuie suflate din mașină, folosind aer comprimat uscat sau foale portabile. După cîteva minute de rotire cu viteză redusă, periile vor fi suficient ajustate pentru a putea începe măsurătorile. Această operație de polizare, suflare și rotire cu viteză redusă de scurtă durată trebuie repetată în cursul încercărilor, ori de cîte ori se inversează sensul de rotație sau se mișcă suportul periilor.

În toate măsurările ce se fac asupra unei mașini cu cîmp transversal este important de a se adopta o tehnică de măsurare invariabilă și de a se stabili o stare ciclică înainte de a se efectua citirile, în scopul eliminării impreciziei rezultatelor, datorate fenomenului de histerezis. Deci, cînd se măsoară amplificarea la mersul în gol, curentul de excitație trebuie inversat de mai multe ori înainte de a se citi curentul transversal și tensiunea de ieșire; cînd se ridică caracteristica externă la curent de excitație constant, sarcina trebuie conectată și deconectată de mai multe ori înainte de începerea citirilor. O altă condiție importantă la ridicarea caracteristicii externe este menținerea constantă a vitezei în tot timpul încercării. La încercarea unui generator normal de curent continuu creșterea vitezei la mersul în gol nu prezintă importanță, dacă avem grijă să o reducem la normal înainte de a citi tensiunea în circuit deschis. La o mașină cu cîmp transversal însă, creșterea temporară a vitezei produce un curent transversal mai mare la un același curent de excitație și, datorită fenomenului de histerezis, atunci cînd viteza a fost restabilită, tensiunea de ieșire nu va mai fi aceeași ca în cazul cînd viteza ar fi rămas constantă. Variațiile de viteză cauzează greutăți de obicei numai dacă mașina cu cîmp transversal este acționată de un motor de curent continuu mic; variațiile de viteză ale unui motor asincron în colivie, alimentat cu tensiune și frecvență constante, sînt în mod normal aproape neglijabile. Alte precauții, cu caracter mai puțin general, vor fi menționate mai departe în legătură cu încercările la care se referă.

Scanned with OKEN Scanner

Încercări normalizate

În mod obişnuit, încercările unui generator cu cîmp transversal urmează următoarea succesiune:

a) *Rezistenţa bobinajelor.* Se măsoară rezistenţele diferitelor bobinaje statorice şi rezultatele se confruntă cu valorile din proiect. Este important să se evite trecerea unor curenţi excesivi prin bobinaje în timpul acestei încercări, pentru ca nu cumva o saturaţie prea mare a circuitului magnetic să ducă la o magnetizare permanentă a carcasei statorului. Dacă se întîmplă aşa ceva, atunci se induce o tensiune remanentă destul de ridicată, care se poate îndepărta numai printr-o metodă laborioasă de aproximaţii succesive, făcînd să circule curenţi de sens opus. Pentru măsurarea rezistenţelor se recomandă deci utilizarea punţilor sau a altor dispozitive în care curenţii sînt mici.

b) *Impedanţa.* În primul rînd pentru a încerca dacă bobinajele nu au spire în scurtcircuit se măsoară cel puţin impedanţa cîte unui bobinaj pe fiecare axă, alimentîndu-l de la o sursă de curent alternativ (de preferinţă, de 50 Hz) şi se măsoară tensiunea, curentul şi puterea în circuit. În timpul acestei încercări, toate periile trebuie ridicate de pe colector şi rezistenţa de şuntare (dacă există) trebuie deconectată, pentru a îndepărta circuitele cuplate. Existenţa spirelor în scurtcircuit se manifestă printr-o impedanţă mai scăzută şi o putere absorbită mai mare faţă de cum ar fi fost normal. Rotind indusul încet cu mîna, se poate stabili dacă spirele scurtcircuitate se află pe stator sau pe rotor, după cum impedanţa rămîne constantă sau variază mult în funcţie de poziţia rotorului.

Dacă impedanţa apare normală, se măsoară tensiunile induse în restul bobinajelor statorice, pentru a verifica dacă numărul de spire şi conexiunile sînt corecte. În bobinajele celeilalte axe, opuse celei alimentate cu curent alternativ, forţa electromotoare indusă trebuie să fie apropiată de zero.

Verificarea impedanţei dă valoarea cea mai mare pe o maşină cu întreg circuitul magnetic din tole. Dacă calea fluxului pe axa încercată include şi o porţiune din fier masiv, curenţii turbionari din materialul masiv constituie un circuit cuplat cu cel verificat. În consecinţă, impedanţa va fi mai scăzută şi efectul a cîtorva spire scurtcircuitate va fi mai greu de observat.

Scanned with OKEN Scanner

Dacă în timpul verificării impedanței se ridică suficient tensiunea alternativă de alimentare, aceasta servește în același timp și pentru încercarea izolației dintre spire. În acest caz, poate fi necesar să se folosească o frecvență mai înaltă decît 50 Hz, pentru a nu satura circuitul magnetic înainte de a se atinge valoarea dorită a tensiunii pe spiră. Solicitări mari ale izolației dintre spire se întîlnesc de obicei numai în bobinajele de excitație alimentate de la amplificatoare electronice cu pentode sau tetrode în etajele de ieșire, la care capacitatea amplificatorului de a produce variații extrem de rapide ale curentului poate cauza unde de tensiune induse de sute sau chiar de mii de volți între bornele bobinajului de excitație. Un limitator de undă, avînd o caracteristică de curent/tensiune neliniară, este adesea conectat în paralel cu bobinajul de excitație, pentru a reduce amplitudinea undelor induse. Un astfel de dispozitiv, constînd dintr-un disc de „metrosil", montat între doi electrozi argintați, poate fi văzut alături de rezistența de șuntare în fig. 2-8.

c) *Determinarea axei neutre magnetice.* Metoda curentă de a conecta și deconecta brusc excitația la o tensiune continuă și de a regla portperiile pentru a obține o deviație inductivă nulă pe un milivoltmetru conectat între perii, nu este suficient de exactă pentru o mașină cu cîmp transversal. Un criteriu mai sigur este acela, ca rezistența aparentă a indusului să fi aceeași, la viteza de rotație normală, oricare ar fi sensul de rotație. Rezistența aparentă se poate măsura trecînd prin perii un curent de valoare cunoscută de la o sursă exterioară și măsurînd căderea de tensiune pe ele, sau alimentînd un bobinaj de excitație pe o axă corespunzătoare, cu curent constant și măsurînd diferența dintre forța elctromotoare a indusului la mersul în gol și tensiunea cînd un curent cunoscut circulă în rezistența de sarcină legată între perii.

Dacă mașina are toate periile montate pe un colier comun, este mai comod să se fixeze periile de sarcină în axa neutră, prin obținerea aceleiași caracteristici externe în ambele sensuri de rotație, circuitul transversal fiind alimentat cu curent constant de la o sursă exterioară. Dacă în același timp se măsoară tensiunea necesară pentru a da curentul transversal atît în sarcină cît și în gol, pentru ambele sensuri de rotație, se obțin indicații prețioase privind exactitatea așezării periilor și gradul de com-

pensare. Schema completă de montaj pentru această încercare este dată în fig. 3-1. Această încercare mai oferă şi avantajul de a putea fi efectuată adesea chiar în cazul existenţei vreunui defect al maşinii şi se pot obţine indicaţii preţioase din care să se deducă natura defectului, dacă încercarea de a pune în funcţiune maşina ca amplificator cu două etaje nu a reuşit de loc, sau a dat rezultate confuze.

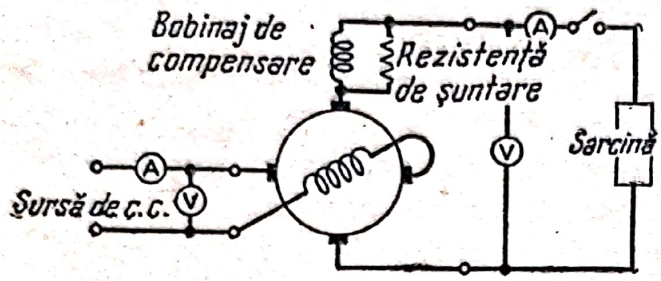


Fig. 3-1 Schemă de montaj pentru fixarea periilor pe axa neutră.

d) *Reglarea şi măsurarea caracteristicilor.* Maşina se reglează astfel ca să aibă caracteristicile de mers în gol şi externă stabilite. Reglarea se poate efectua prin mici deplasări ale periilor de sarcină sau transversale de pe axa neutră, prin modificări ale valorii rezistenţelor de şuntare şi transversale, sau prin combinarea acestor mijloace. Dacă nu este prevăzut nici un mijloc de ajustare a caracteristicilor de mers în gol şi externe, amplificarea este determinată de obicei pentru maşina funcţionînd la sarcina nominală.

Maşina este după aceea pusă să funcţioneze cîtva timp la sarcina nominală sau la o mică suprasarcină, pentru a permite periilor să se apropie de starea finală de fixare şi ajustare. Dacă fixarea s-a făcut de la început cu grijă, se va obţine o situaţie destul de stabilă după o jumătate de oră. La terminarea rotirii se cercetează din nou caracteristicile de mers în gol şi externă şi dacă sînt satisfăcătoare, se efectuează măsurătorile care vor constitui datele de încercare ale maşinii. Marele avantaj al reglării prin rezistenţa de şuntare şi rezistenţe transversale apare din cele de mai sus; ele se pot reajusta în acest stadiu fără a necesita o nouă rotire timp de jumătate de oră pentru fixarea şi ajustarea periilor, în timp ce, dacă se modifică poziţia portperiilor, este necesară o nouă rotire timp de jumătate de oră pentru ajustarea periilor înainte de a se efectua citirile finale.

e) *Încercări referitoare la bobinajele de comandă suplimentare.* Încercările precedente s-au efectuat alimentînd un bobinaj de

comandă ales mai mult sau mai puțin arbitrar. Se fac apoi încercări de mers în gol, folosind fiecare bobinaj de excitație la rînd, pentru a verifica numărul de spire și polaritatea fiecărui bobinaj.

f) *Încercări de izolație.* În sfîrșit, mașina este supusă încercărilor curente de rigiditate dielectrică și de înaltă tensiune. Viteza de creștere a tensiunii folosite în încercarea la înaltă tensiune este determinată de condițiile de funcționare ale mașinii în sistemul de reglaj pentru care a fost destinată.

Încercări speciale

În afara încercărilor de mai sus, care se efectuează pe orice mașină, se mai execută din cînd în cînd și alte încercări, în special pe prima mașină construită pe baza unui proiect nou (încercări de tip). Aceste încercări speciale pot include încercări asupra pierderilor în miezul magnetic, asupra regimului de încălzire și încercări de verificare a polilor auxiliari prin survoltare-devoltare. Toate aceste încercări decurg aproape la fel cu cele ale mașinilor de curent continuu obișnuite.

Din cauza importanței constantelor de timp ale generatorului cu cîmp transversal în calcularea performanțelor sistemelor de reglaj, este adesea necesar să se verifice aceste constante de timp prin încercări. Ele pot fi deduse în mod indirect din măsurarea impedanței și rezistenței bobinajelor (incluzînd rezistența aparentă datorită decalajului periilor, cînd este cazul) sau se pot măsura direct prin metode oscilografice. Montajele folosite pentru măsurători oscilografice sînt reprezentate în fig. 3-2. Pentru a măsura constanta de timp longitudinală, de exemplu, se aplică bobinajului de excitație un salt de tensiune de forma funcției unitare a lui Heaviside, cînd contactorul de pornire este închis. Constanta de timp se determină din oscilograma creșterii forței electromotoare generate în gol între periile circuitului transversal. În mod asemănător pentru a măsura constanta de timp transversală, se introduce un salt unitar de tensiune în circuitul transversal și se înregistrează modul de creștere al forței electromotoare între periile circuitului de sarcină. Constantele de timp obținute pe această cale sînt valori efective incluzînd influența curenților turbionari. Dacă valoarea curenților turbionari nu este atît de mare încît natura lor neliniară să aibă efect asupra răspunsului total și valoarea finală a curentului de excitație nu cauzează saturația

magnetică, curbele de creştere vor fi simple exponenţiale din care constantele de timp se pot determina rapid.

Răspunsul total al celor două etaje ale maşinii cu cîmp transver-

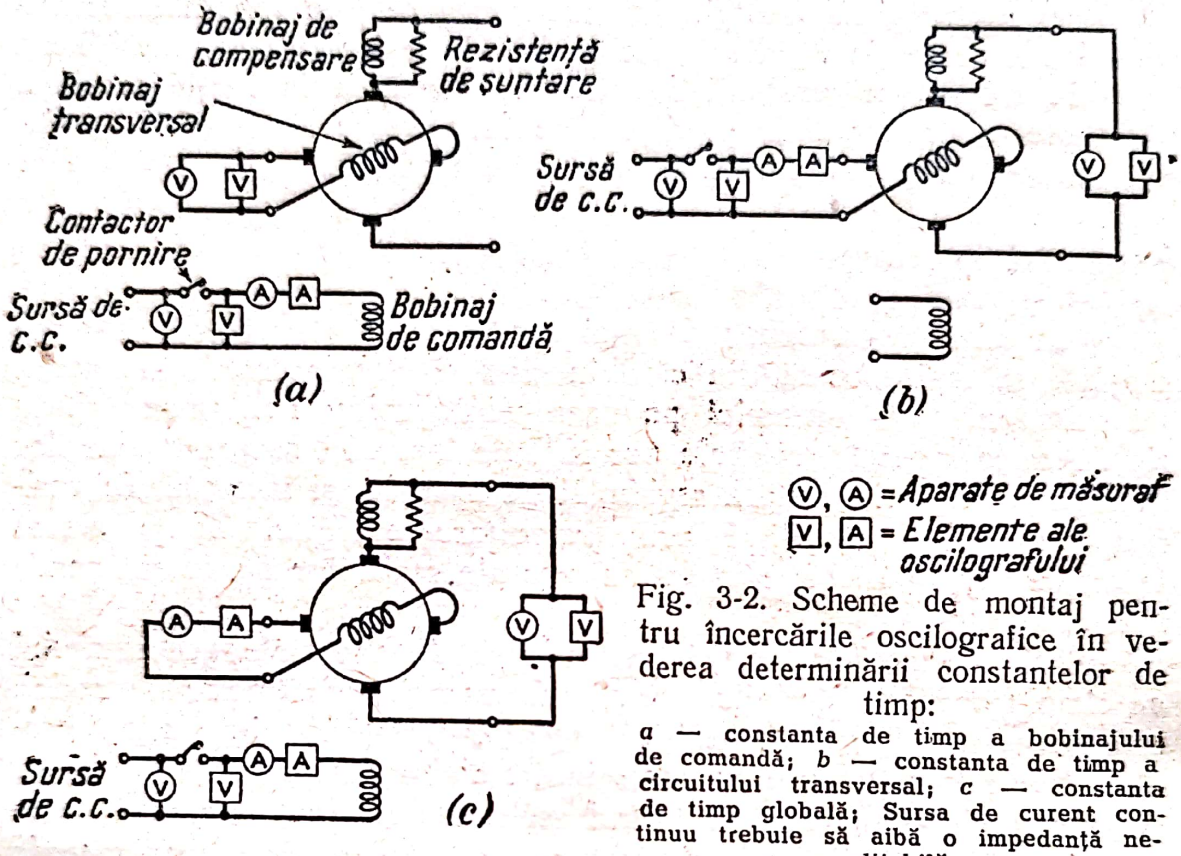


Fig. 3-2. Scheme de montaj pentru încercările oscilografice în vederea determinării constantelor de timp:

a — constanta de timp a bobinajului de comandă; *b* — constanta de timp a circuitului transversal; *c* — constanta de timp globală; Sursa de curent continuu trebuie să aibă o impedanţă neglijabilă.

sal poate fi de asemena determinat prin aplicarea unei tensiuni unitare bobinajului de excitaţie, observînd creşterea tensiunii între periile de sarcină, circuitul transversal fiind închis. În acest caz, curba de creştere este de tipul „dublu exponenţial" descris mai sus. Constantele de timp componente ale curbei de răspuns total (care se pot deduce din curbă printr-o metodă de aproximaţii succesive) trebuie să corespundă cu constantele de timp longitudinală şi transversală determinate în modul arătat mai sus.

Maşini subcompensate

Deoarece caracteristicile unei maşini subcompensate sînt determinate aproape în întregime de gradul de subcompensare, procedeul standard de încercare este simplificat în mod considerabil. Acesta

se referă la mașini cu caracteristici propriu-zise de „curent constant" (adică la mașini la care gradul de compensare este de 90% sau mai puțin). Mașinile cu caracteristici intermediare între „tensiune constantă" și „curent constant" vor depinde în oarecare măsură de ajustarea poziției periilor etc. și modul lor de încercare va urmări punctele specificate pentru mașina total compensată.

La mașina subcompensată, măsurările de impedanțe și rezistențe pentru verificarea bobinajelor se vor efectua ca mai sus. În cazul utilizării montajului din fig. 3-1, se pot ivi unele dificultăți de ordin practic la așezarea periilor de sarcină ale mașinilor subcompensate pe axa neutră, cu toate că este posibil a se fixa periile transversale, avînd pe cele de sarcină în gol. Poziția periilor într-o astfel de mașină are o influență mai mică, astfel încît metoda conectării și deconectării la o tensiune constantă este suficientă pentru a plasa periile aproximativ în centrul zonei polilor auxiliari, în scopul asigurării unei comutații satisfăcătoare.

Pentru a determina caracteristicile în regim permanent, mașina se încarcă pe o rezistență variabilă și se obține o familie de curbe ale curentului de ieșire în funcție de tensiunea de ieșire, pentru valori diferite ale curentului de excitație. (Este important să se evite întreruperea incidentală a curentului în circuitul de sarcină, ceea ce ar elimina amperspirele negative pe axa longitudinală datorită subcompensării și ar produce o saturație extremă cu o creștere periculoasă a curentului transversal). Cu condiția ca numărul de spire în bobinajul de compensare să fie corect, caracteristica nu va reclama ajustări ulterioare; într-adevăr este greu de efectuat vre-o ajustare pînă nu se modifică numărul de spire ale bobinajului de compensare. Restul încercărilor curente și speciale ale mașinii subcompensate sînt asemănătoare cu acelea ale mașinilor total compensate.

Întreținerea

În ce privește instalarea, ungerea, întreținerea colectorului, înlocuirea lagărelor etc., cerințele de întreținere ale generatorului cu cîmp transversal sînt identice cu acelea ale unei mașini de curent continuu obișnuite. Pentru aceasta se pot consulta lucrările cunoscute care se ocupă de întreținere, completate cu recomandările speciale ale constructorului mașinii.

Din cele expuse mai sus, privind influența poziției periilor asupra caracteristicilor mașinii cu cîmp transversal, rezultă că în tot cursul folosirii mașinii trebuie să se acorde o grijă mai mare decît

Scanned with OKEN Scanner

în mod obişnuit, problemei periilor. Cînd se pun perii noi, ele vor fi bineînţeles ajustate în mare cu hîrtie emeri, în modul obişnuit; la maşina cu cîmp transversal este însă recomandat să se facă o ajustare mai precisă prin folosirea unei pietre speciale de polizat periile. De asemenea, înainte de a demonta o maşină cu cîmp transversal, trebuie întotdeauna verificat dacă poziţia periilor este marcată exact şi univoc, şi cînd maşina este din nou asamblată, periile trebuie reaşezate pe poziţia marcată cu o eroare de cel mult 1/32" (0,794 mm) faţă de diametrul colectorului. Dacă a fost demontată însăşi portperia, ca de exemplu, pentru a introduce o nouă cutie de perie, distanţarea braţelor şi reglarea lor axială trebuie să fie corectă înăuntrul aceloraşi limite strînse. Spaţiul radial între locaşul periei şi colector în cazul cînd este reglabil, trebuie să fie de ordinul a 1/16" (1,587 mm). O distanţă mai mare poate cauza un mers neuniform şi în consecinţă caracteristicii nestabile.

În cazul că se caută un defect într-o maşină cu cîmp transversal, trebuie deconectate toate conductoarele de la bornele sale şi trebuie verificată continuitatea şi izolaţia circuitelor din interiorul maşinii, pe baza schemei de conexiuni furnizate împreună cu maşina. Se recomandă a se ridica periile în timpul acestei încercări, pentru separarea circuitelor de sarcină şi transversal pe stator. Dacă totul pare să fie în ordine, urmează să se măsoare rezistenţa bobinajelor şi să se compare cu datele fabricii constructoare. Amplificarea în gol şi caracteristica externă se pot de asemenea determina, aşa cum s-a arătat mai sus la punctul (d) al încercărilor normalizate, slaba excitaţie de comandă fiind obţinută de la o baterie uscată sau de la o altă sursă convenabilă. Dacă se poate intercala un ampermetru de mică rezistenţă interioară în circuitul transversal, acesta poate fi de folos în localizarea defectului.

Reparaţiile indusului unei maşini cu cîmp transversal se pot încredinţa unei întreprinderi competente de reparaţii. Defectele statorului se înlătură însă mai bine cu ajutorul furnizorului, avînd în vedere complexitatea bobinajelor.

Scanned with OKEN Scanner

4. MAGNICONUL

A. W. BLACKHURST,
Director de cercetări, „The Macfarlane Engineering Co. Ltd")

Amplificatorul dinamic rotativ magnicon a fost brevetat şi fabricat de către uzinele din Glasgow ale societăţii „The Macfarlane Engineering Company". El a fost destinat iniţial pentru a satisface cererea de agregate generatoare individuale, relativ mici, la care pentru obţinerea unor rezultate satisfăcătoare costurile instalării echipamentului obişnuit de reglare automată a tensiunii sau frecvenţei ar fi fost prohibitive. Principalele sale însuşiri sînt construcţia robustă şi simplă, răspuns foarte rapid la variaţii ale sarcinii sau ale factorului de putere şi siguranţă în exploatare.

Construcţia

Sistemul de excitaţie al magniconului, spre deosebire de maşina de curent continuu obişnuită, este realizat cu poli înecaţi, din tole ştanţate asemănător cu cele pentru motorul de inducţie, dar avînd crestăturile adaptate scopului special urmărit. O tolă tipică de magnicon este reprezentată în fig. 4-1 împreună cu dintele inserat (*a*), care formează o parte a circuitului magnetic după axa de comandă. Acest dinte inserat joacă un rol foarte important în funcţionarea magniconului şi efectul lui va fi explicat mai jos.

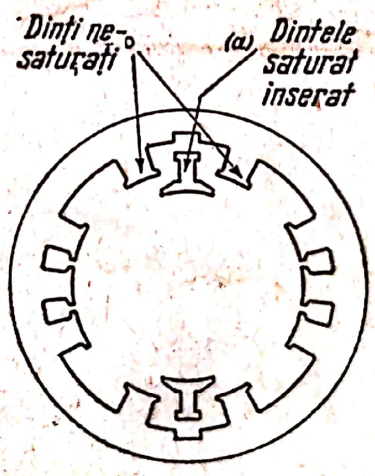


Fig. 4-1. Tolă statorică de magnicon, cu dinte inserat.

Bobinajele de excitaţie constau în esenţă din două bobine de comandă şi două bobine de compensare, bobinate pe aceeaşi axă magnetică. Bobinele de comandă sînt secţionate pe fiecare pol în două părţi denumite bobinaj de stabilizare şi de opoziţie. Unul din

*) „Compania de utilaj Macfarlane" (*N.red.E.T.*).

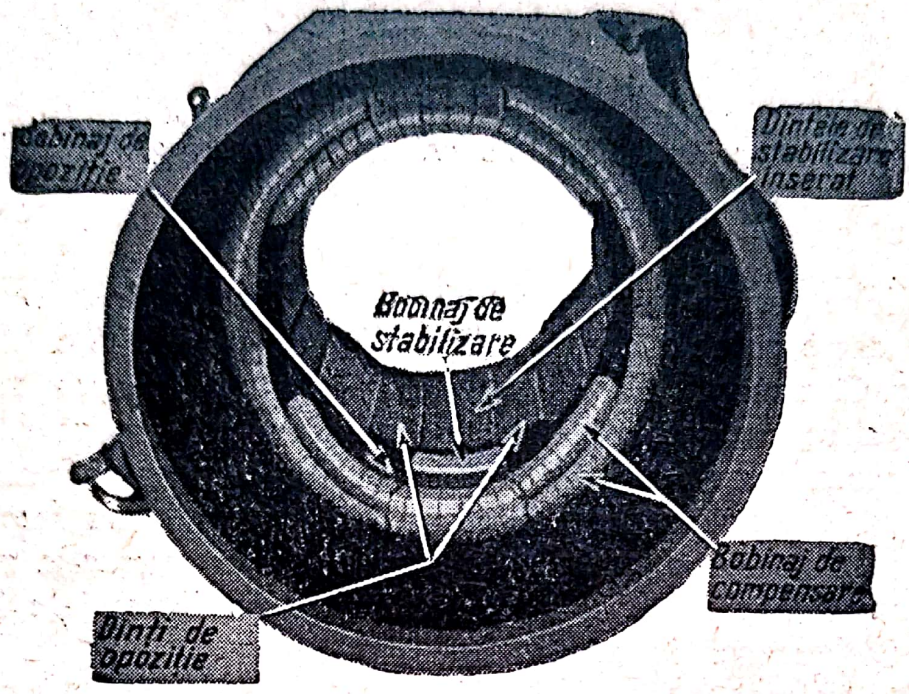


Fig. 4-2 a. Stator de magnicon.

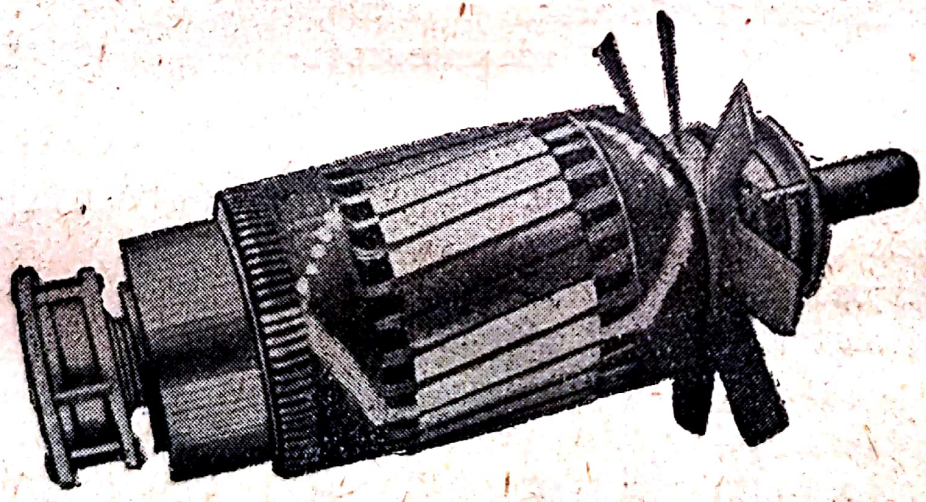


Fig. 4-2 b. Indus de magnicon; se văd ventilatorul elicoidal, inelele de susținere, bucșele inelelor de susținere și o bobină a indusului trasată pe periferie.

Scanned with OKEN Scanner

acestea, cel de stabilizare, este bobinat în jurul dintelui inserat (*a*) din fig. 4-1 şi în jurul unui bobinaj de amortizare în scurtcircuit, din cupru masiv, care cuprinde de asemenea dintele inserat. Această dispoziţie formează bobinajul de stabilizare sau de referinţă (fig. 4-2 a).

Celălalt bobinaj de comandă (cel de opoziţie) este bobinat în jurul celor doi dinţi din imediata vecinătate a bobinajului de referinţă şi de ambele părţi ale sale. Acest bobinaj îmbrăţişează un circuit magnetic cu secţiunea relativ mare, aşa cum se vede din fig. 4-2 a. Cele două bobinaje sînt legate în serie, dar forţele lor magnetomotoare sînt în opoziţie. Dintele de stabilizare inserat este menţinut în poziţia sa în tola statorică, lateral, cu ajutorul adînciturii prevăzute în tolă şi radial, cu ajutorul a două bolţuri introduse dinafara carcasei statorului şi înşurubate în găuri tăiate în dintele inserat gata asamblat. Bobinajul de compensare este bobinat pe aceeaşi axă magnetică cu bobinele de comandă, îmbrăţişîndu-le şi extinzîndu-se şi peste axele neutre.

Indusul

Indusul este de tipul miezului lamelat normal, din tole cu crestături semiînchise şi are un bobinaj bipolar cu pas semidiametral. O bobină a indusului este reprezentată prin trasare în fig. 4-2 b. O pereche de perii opuse este scurtcircuitată, cealaltă pereche — periile principale de ieşire, aşezate perpendicular faţă de periile scurtcircuitate — este străbătută de curentul de sarcină. Datorită folosirii unui bobinaj semidiametral la indus, întreaga maşină este echivalentă cu două generatoare bipolare separate, combinate într-o carcasă comună.

Magniconul este răcit de obicei cu ajutorul unui ventilator; un tip de ventilator este reprezentat în fig. 4-2 b şi acesta este de tipul elicoidal, din aluminiu turnat, fixat direct pe ax. La puteri mai mari, se foloseşte însă un ventilator din oţel laminat, montat pe un butuc special. O secţiune printr-o maşină tipică este dată în fig. 4-3. Scuturile frontale sînt din fontă turnată şi variază ca mărime şi formă în funcţie de modul de utilizare şi de puterea maşinii. Carcasa statorului este confecţionată în mod obişnuit din oţel prelucrat, fiind prevăzută cu nervuri pentru susţinerea miezului statoric, confecţionat fie din tole ştanţate, fie la puteri mai mici, din miez masiv. În cazul că magniconul este destinat să fie folosit drept excitatoare pentru un generator de curent continuu sau pentru un alternator, carcasa sa

Scanned with OKEN Scanner

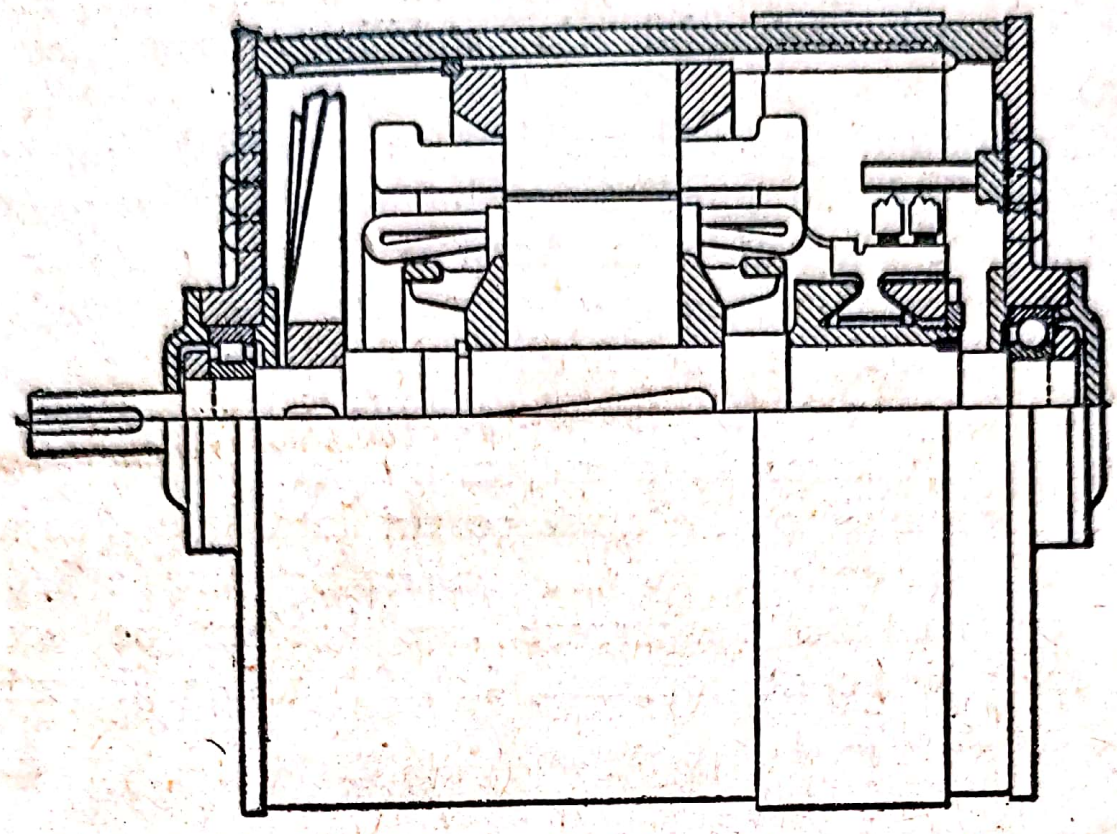


Fig. 4-3. Secțiune printr-un magnicon.

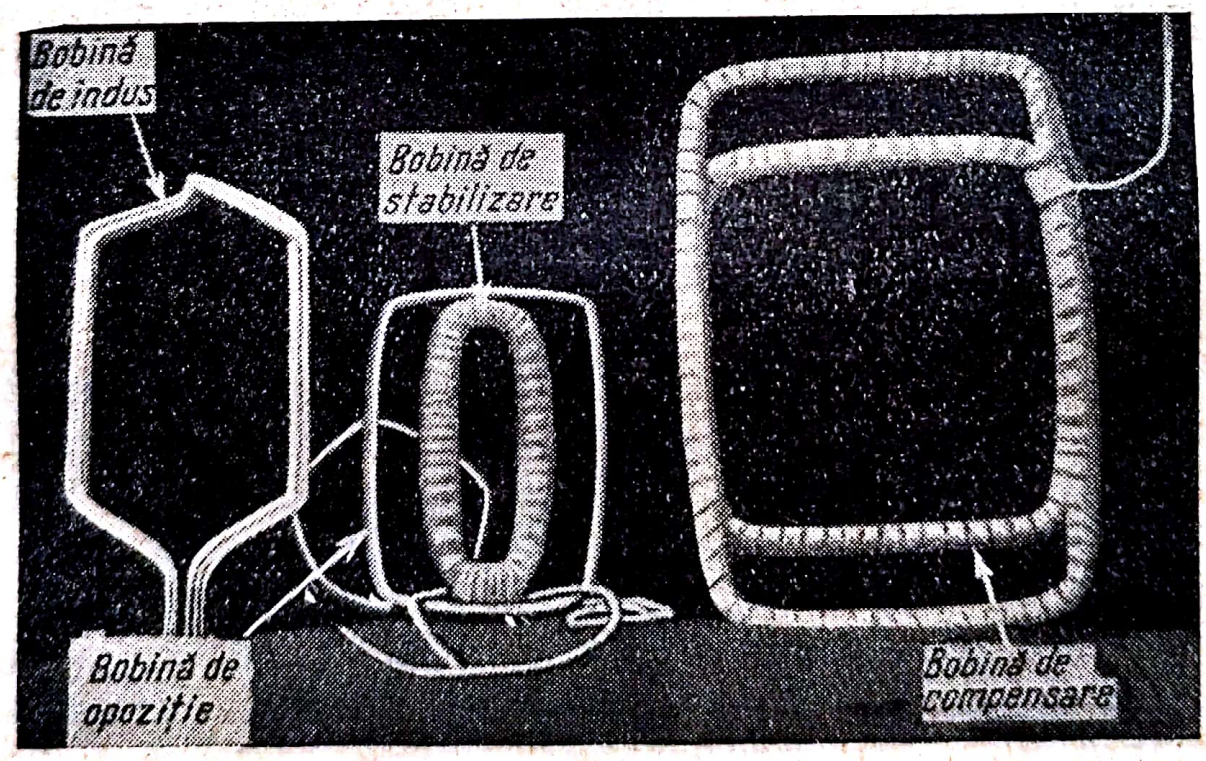


Fig. 4-4. Bobine rotorice și statorice ale magniconului.

Scanned with OKEN Scanner

este adesea din fontă turnată, dar aceasta depinde de proiectarea mecanică și de destinația concretă a mașinii.

Arborele, din oțel de mare rezistență, este montat pe tipuri curente de rulmenți cu bile sau cu role, așezați în lăcașuri corespunzătoare în scuturile frontale și fixați lateral cu ajutorul unor capace de rulmenți interioare și exterioare din fontă sau aluminiu turnat în cochilă. Rulmenții sînt gresați cu unsori consistente.

Capetele de bobinaj sînt susținute prin scoabe combinate cu suporți obișnuiți; aceste scoabe fixează și extremitățile miezului indusului. Cîteva bobine statorice și rotorice de magnicon sînt reprezentate în fig. 4-4; menționăm că bobinele interioare și exterioare de compensare sînt bobinate concentric pe același șablon și matisate laolaltă. Colectorul este de construcție obișnuită, lamelele fiind din cupru cositorit și variază ca diametru în funcție de miezul mașinii. Capetele bobinelor indusului sînt legate rigid cu bandaje din oțel de arc, pentru a împiedica depărtarea conductoarelor, ceea ce s-ar putea întîmpla la vitezele periferice mari cu care sînt antrenate multe magnicoane. În unele excitatoare, viteza de rotație depășește 3 000 rot/min.

Principiul de funcționare

În majoritatea lor, mașinile de curent continuu obișnuite sînt amplificatoare rotative, deoarece variații relativ mici ale puterii în circuitul lor de excitație produc variații mari în circuitul lor de ieșire.

Modul de funcționare al magniconului se înțelege foarte ușor, dacă considerăm întîi un generator simplu bipolar, avînd pe poli un bobinaj de excitație sau de comandă, iar periile de ieșire fiind conectate pe o rezistență de sarcină. Dacă mașina nu este saturată din punct de vedere magnetic, mici variații ale puterii din circuitul de comandă vor cauza variații relativ mari ale puterii de ieșire și putem considera că mașina se comportă ca un amplificator cu un singur etaj. Dacă rezistența de sarcină este înlocuită cu bobinajul de excitație al unei mașini asemănătoare, așa cum este arătat schematic în fig. 4-5, se poate obține un etaj de amplificare în plus. Dacă un astfel de sistem ar fi dezvoltat mai departe, viteza de răspuns la variațiile mărimii de intrare, adică ale comenzii, ar deveni prea mică pentru scopuri practice, datorită inductanței sau inerției electromagnetice a bobinajelor de excitație.

Dacă se îndepărtează rezistența de sarcină și se scurtcircuitează periile de ieșire, în conductorul de legătură dintre perii va circula un

curent de sarcină de valoare mare şi pentru a obţine un curent de scurtcircuit relativ mare nu va fi nevoie decît de o mică variaţie de putere în circuitul de intrare sau de comandă. Acest curent, trecînd

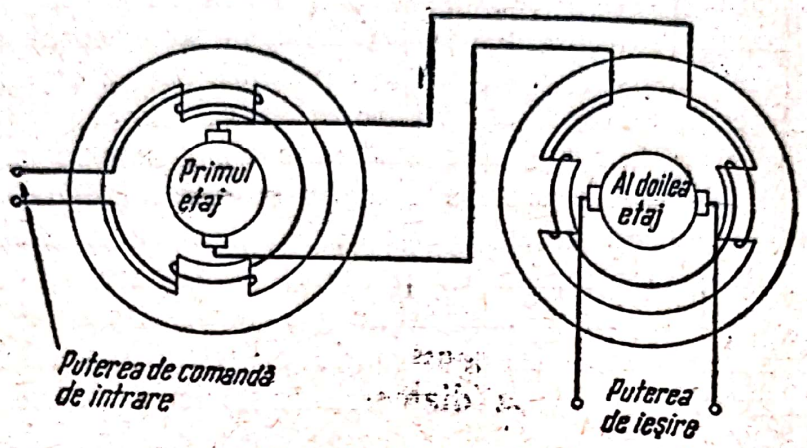


Fig. 4-5. Generatoare de curent continuu în cascadă.

prin bobinajele indusului între periile scurtcircuitate, va produce o puternică forţă magnetomotoare, perpendiculară pe fluxul de comandă şi, dacă există un circuit magnetic corespunzător, în maşină se stabileşte un puternic flux „principal" datorită acestei forţe magnetomotoare (v. fig. 4-6). Acest flux poate acţiona ca un flux de excitaţie principal pentru o a doua pereche de perii, astfel amplasate, încît să colecteze tensiunea relativ înaltă indusă în bobinele indusului, care taie acest cîmp principal.

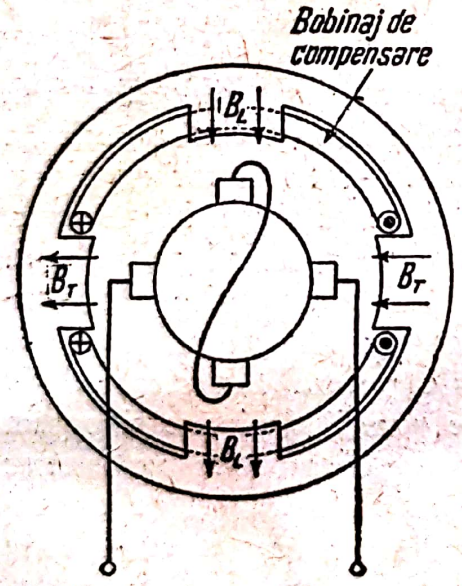


Fig. 4-6. Maşină unică funcţionînd ca amplificator.

Orice mică variaţie a puterii din circuitul de comandă poate cauza deci o variaţie mult amplificată a curentului din conductorul ce scurtcircuitează periile şi, prin aceasta, şi a fluxului principal, care, la rîndul său, va produce o modificare proporţională considerabil amplificată a mărimilor de ieşire de la periile principale. Dacă însă prin periile principale trece un curent de sarcină, forţa magnetomotoare de reacţie a indusului tinde să stabilească un flux din punct de vedere electric în cvadratură cu cel prin-

cipal și de aceeași direcție cu fluxul de comandă. Sînt necesare deci bobinaje de compensare, străbătute de curentul de sarcină, bobinate pe axa de comandă, spre a preîntîmpina ca fluxul produs de reacția indusului să anuleze micul cîmp de comandă.

În acest fel, avem o singură mașină, funcționînd în același mod ca și cele două generatoare considerate mai sus și care, corect dimensionată și cu construcția mecanică adecvată, va funcționa ca amplificator în două etaje. Bobinele de comandă necesită relativ puține spire, iar reacția indusului însuși înlocuiește circuitul de excitație, greoi și de inductanță ridicată al celui de-al doilea generator; rezultă de aici că inductanța tuturor circuitelor interne va fi scăzută și mașina este capabilă să urmărească variațiile din circuitul de comandă cu viteză extremă și în același timp, să aibă un factor de amplificare ridicat.

Reacția indusului în amplificatorul magnicon

Forma undei spațiale a forței magnetomotoare a indusului în magnicon este trapezoidală mai curînd decît triunghiulară, așa cum ar fi în cazul unui bobinaj cu pas întreg. Aceasta se datorește faptului că în mașina bipolară se folosește în realitate un bobinaj tetrapolar, fără legături echipotențiale. Fig. 4-7 reprezintă distribuția reală a curentului de magnetizare în bobinajul tetrapolar al magniconului cu periile scurtcircuitate și indusul rotindu-se într-un sistem de excitație bipolar.

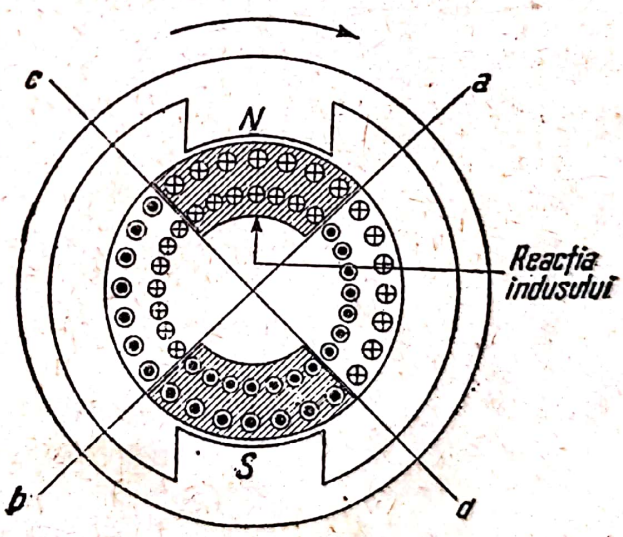


Fig. 4-7. Distribuția curentului rotoric în primul etaj.

Există două axe de comutație: *ab* și *cd*, și acestea împart conductoarele indusului în patru zone distincte: cîte una sub fiecare pol și cîte una în fiecare spațiu interpolar. Se poate vedea că în crestăturile dintre poli, conductoarele sînt străbătute de curenți ce au sensuri opuse în cele două straturi, pe cînd în crestăturile de sub poli,

curenţii au acelaşi sens în stratul interior şi cel exterior. Considerînd forţa magnetomotoare de-a lungul unui pas polar, observăm că ea are valoarea nulă în centrul polului, apoi creşte uniform pînă la o valoare maximă pe care o atinge într-un punct situat la un sfert de pas polar de-a lungul periferiei indusului, se menţine la această valoare pe încă o jumătate de pas polar (deoarece curenţii din conductoarele situate între poli nu au o acţiune magnetică) şi în sfîrşit coboară din nou uniform la zero, sub mijlocul polului opus. Deci, forma undei spaţiale a reacţiei indusului este trapezoidală.

Avantajele cîmpului aplatizat constau în faptul că reacţia indusului poate fi complet neutralizată prin bobine de compensare concentrate, avînd drept urmare o mai bună comutaţie, bobine de comandă mai mici şi viteză de răspuns sporită.

Amplificarea etajului întîi şi al doilea

Fig. 4-8 arată situaţia care apare în etajul întîi, sau de magnetizare, al amplificării; sînt reprezentanţi curenţii care iau naştere în conductoarele indusului şi forţa magnetomotoare de reacţie a indusului, datorată polilor de comandă şi periilor scurtcircuitate. Se poate vedea că, dacă se prevede o cale magnetică adecvată, cu reluctanţă

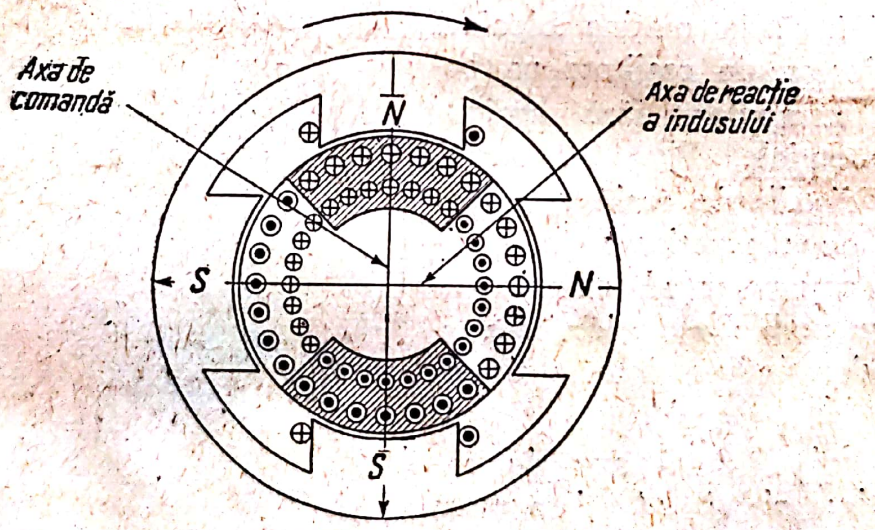


Fig. 4-8. Distribuţia fluxului în primul etaj.

scăzută, reacţia indusului va tinde să stabilească un flux principal de-a lungul axei orizontale indicate pe figură. Rotaţia conductoarelor indusului în acest flux principal va produce o forţă electromotoare la

o a doua pereche de perii plasate fizic pe axa principală, exact în același mod în care rotația în cîmpul de comandă produce o forță electromotoare în periile scurtcircuitate de pe axa de comandă. Dacă această o doua pereche de perii este conectată pe o sarcină exterioară, mașina produce o amplificare în două etaje, așa cum s-a arătat la paragraful „Principiul de funcționare".

Amplificatorul magnicon în sarcină

Distribuția curentului de sarcină din indus este reprezentată în fig. 4-9 și se observă că este asemănătoare cu aceea din fig. 4-7, dar decalată cu 90° în sensul rotației; de asemenea se observă că reacția indusului în etajul al doilea va tinde să stabilească un flux de-a lungul axei de comandă, opus fluxului de comandă. Acest flux de reacție a indusului ar anula foarte repede fluxul de comandă de valoare mică, dacă nu s-ar introduce mijloace de compensare; acestea constau din bobinele de compensare care sînt conectate în serie cu sarcina și acționează în lungul axei de comandă. Acest bobinaj cuprinde și zonele magnetice neutre, în scopul ameliorării comutației și, în mod normal, este puțin supradimensionat, pentru a compunda mașina proporțional cu curentul de ieșire. De exemplu, dacă se face un reglaj la o valoare constantă, compundarea este aceea care furnizează întreaga forță magnetomotoare a axei de comandă.

În sarcină, distribuția curenților din indus este o combinație a curenților din primul și din cel de-al doilea etaj și curentul în oricare dintre conductoare este suma algebrică a curentului etajului întîi și a curentului de sarcină. Aceasta se vede în fig. 4-10 și se observă că pierderile în cupru rezultante sînt perfect uniforme în lungul periferiei indusului, deoarece, în fiecare crestătură, unul din conductoare este străbătut de curentul mai mare, iar celălalt, de cel mai mic dintre cei doi curenți rezultanți. În consecință, încălzirea indusului este uniformă de-a lungul periferiei mașinii atunci cînd ea este în sarcină și răcirea este și ea deci foarte eficace. În plus, datorită structurii cîmpului și a bobinajelor rotorice ale magniconului, fluxul principal și cel de comandă sînt complet independente unul de celălalt și străbat circuite magnetice separate. Astfel, secțiunea polilor și întrefierul pot fi stabilite la valoarea optimă, independent pentru fiecare din cele două axe.

Scanned with OKEN Scanner

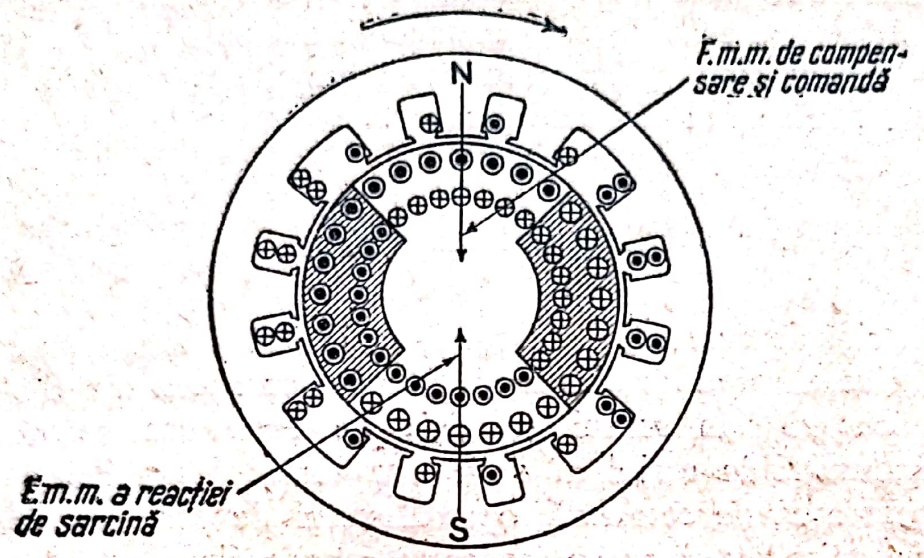


Fig. 4-9. Distribuția curentului rotoric și de compensare în etajul al doilea.

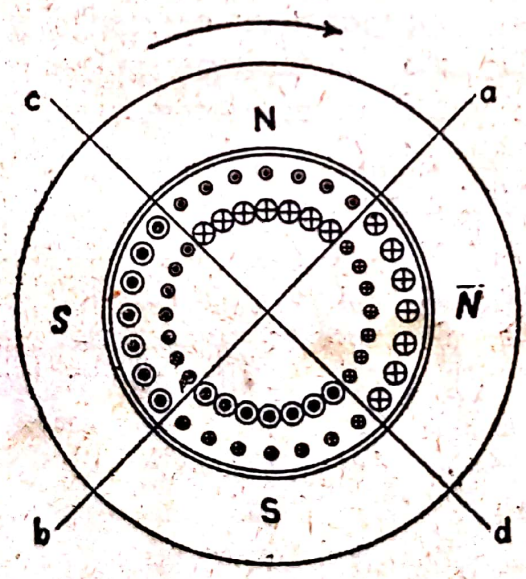


Fig. 4-10. Distribuția de curent rezultantă.

Comutația

Problemele comutației pot fi tratate independent pentru cele două perechi de perii și o examinare a distribuției curenților rotorici în cursul amplificării din primul și din cel de-al doilea etaj poate confirma aceasta. Deoarece pasul de bobinare este de 90°, părțile bobinajului supuse comutației cad în zona magnetic neutră, la mijloc între polii de comandă și cei principali, așa cum se observă cu ușurință examinînd fig. 4-7, pe care aceste axe au fost marcate clar (*ab* și *cd*). Se va considera întîi comutația din etajul întîi de magnetizare (adică corespunzător periilor scurtcircuitate). Pe axa *ab* comutația se produce numai în conductoarele din stratul inferior, curenții stratului superior rămînînd neschimbați. Pe axa *cd* comutația se produce numai în conductoarele din stratul superior, curenții din stratul inferior rămînînd neschimbați. Examinarea distribuției curenților din al doilea etaj de amplificare (adică în sarcină) va arăta că, în aceste condiții, lucrurile se petrec exact invers. Axele *ab* și *cd* rămîn axe de comutație, dar conductoarele ai căror curenți corespunzători primului etaj sînt neschimbați în fig. 4-7 și fig. 4-8, sînt supuși inversării în cazul curentului de sarcină în fig. 4-9. Acest lucru era de prevăzut, știind că distribuția curenților în sarcină este aceea a primului etaj, decalată cu 90°. Comutația la oricare din perechile de perii nu este deci de loc influențată de existența celeilalte perechi, deoarece într-o bobină supusă comutației într-o pereche de perii, componenta de curent relativă la cealaltă pereche de perii rămîne neschimbată. În concluzie, se poate obține o comutație perfectă, folosind un pas de bobinare mai mare de 90° pentru bobinajul de compensare. Aceasta este metoda folosită în amplificatorul magnicon.

Fluxurile de comandă. Regimul permanent

Este important pentru o mașină cum este și amplificatorul magnicon, care este folosită în special ca excitatoare pentru a regla tensiunea de ieșire a unui generator de curent continuu sau a unui alternator, ca să aibă un flux de referință, adică un flux de valoare și sens constante. Cînd se folosește o astfel de combinație, sistemul de reglare este de tipul cu circuit închis, mărimea de ieșire fiind comparată cu mărimea de referință. O diferență oricît de mică dintre aceste mărimi este folosită pentru a produce o mărime de ieșire la elementul de reglat, de valoarea și sensul necesare pentru a menține

Scanned with OKEN Scanner

valoarea mărimii controlate în cadrul limitelor stabilite. În amplificatorul magnicon aceasta se obține folosind metoda bobinajelor de referință și de opoziție.

Comanda prin două circuite

Un flux corespunzător unei forțe magnetomotoare constante ca valoare și sens se poate obține alimentînd bobinajul de referință de la o sursă separată și dacă bobinajul de opoziție este străbătut de un curent proporțional cu mărimea ce trebuie reglată, se stabilește o formă de reglaj satisfăcătoare. Pentru reglajul la o valoare constantă, forțele magnetomotoare ale acestor bobinaje se vor anula reciproc și întreaga forță magnetomotoare de comandă va fi dată de supracompensarea menționată mai sus (v. paragraful „amplificatorul magnicon în sarcină"). De multe ori însă nu este posibil de a se obține o sursă de excitație separată, în special pentru un generator de alimentare, iar un alt dezavantaj al comenzii prin două circuite este acela că dacă unul dintre circuite se întrerupe incidental, celălalt va produce o valoare foarte mare a mărimii controlate. Aceasta se poate preîntîmpina producînd o forță magnetomotoare constantă pe cale artificială, prin folosirea unui element neliniar.

În magnicon se obține o formă simplă a comenzii, realizînd aceste condiții prin folosirea saturației magnetice a unei părți a polului axei de comandă, producîndu-se astfel fluxul de referință necesar, pe cînd bobinajul de opoziție la rîndul său furnizează forța magnetomotoare de reacție negativă.

Comanda în circuit închis

Într-un magnicon, folosit ca generator de curent continuu și ca regulator al propriei sale tensiuni sau ca excitatoare a unui alternator sau a unei mașini de curent continuu mari, dintele de stabilizare inserat atinge o saturație foarte pronunțată cînd bobinele de comandă sînt alimentate, datorită secțiunii sale magnetice reduse și numărului mare de spire cu care este prevăzut. În modul acesta, se stabilește un flux de valoare constantă în mașină, care servește drept flux de referință, așa cum s-a arătat mai sus. Bobinajul de opoziție, care este bobinat în jurul celor doi dinți alăturați îmbrățișează un circuit magnetic cu secțiunea relativ mare și este bobinat cu un număr relativ mic de spire; rezultă că, în condiții normale de lucru, acești dinți sînt cu totul nesaturați. Fluxurile create de către aceste

Scanned with OKEN Scanner

bobinaje sînt reprezentate în fig. 4-11, unde se observă că, deşi bobinajele sînt conectate în serie din punct de vedere electric, forţele lor magnetomotoare sînt în opoziţie.

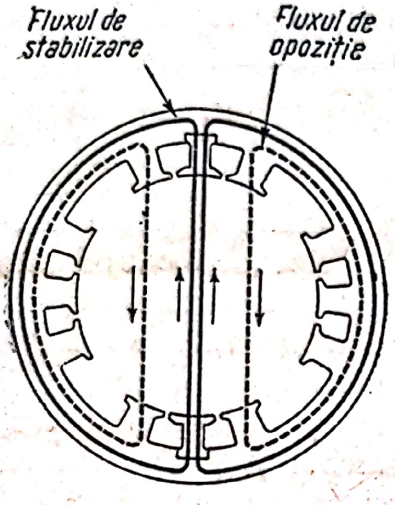


Fig. 4-11. Fluxurile de comandă.

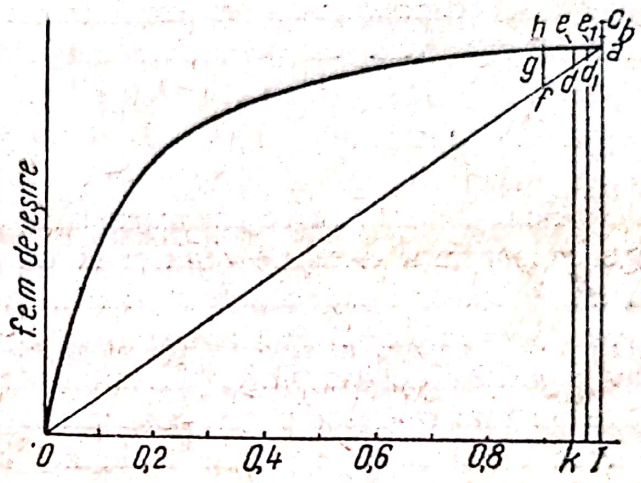


Fig. 4-12. Caracteristicile de comandă ale magniconului.

În timpul reglării la o valoare constantă, în condiţii statice de sarcină, curentul din acest circuit trebuie să rămînă constant şi să producă în polii de comandă fluxuri egale şi opuse, excitaţia de comandă fiind furnizată de către supracompensarea menţionată mai sus. În fig. 4-12 curba *oga* reprezintă efectul părţii saturate a polilor de comandă acţionînd singură, atunci cînd curentul de comandă creşte de la zero la unitate. Ordonatele reprezintă, la scări diferite, fluxul dat de pol, curentul de scurtcircuit şi forţa magnetomotoare de excitaţie după axa secundară (presupunînd că rezistenţa conductorului de scurticircuitare este constantă), precum şi forţa electromotoare a axei secundare, considerînd că viteza de rotaţie rămîne constantă. Saturaţia magnetică este neglijabilă pe această axă. Linia dreaptă *ofa* reprezintă efectul părţii nesaturate a polului şi, la fel ca şi

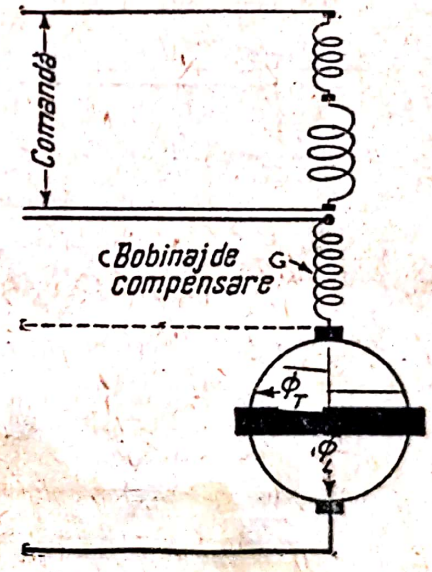


Fig. 4-13. Ansamblul bobinelor magniconului.

în cazul generatorului cu excitaţie, derivaţie, stabilitatea se obţine în punctul de intersecţie *a*.

Fig. 4-13 reprezintă ansamblul de bobinaje al magniconului, bobinele de comandă fiind alimentate de la bornele maşinii principale, dacă funcţionează ca excitatoare, sau de la propriile borne, dacă funcţionează ca generator magnicon autoexcitat.

Regimul tranzitoriu

Funcţionarea în regim tranzitoriu a magniconului se poate înţelege cu uşurinţă dacă ne referim la un exemplu tipic. Să considerăm un amplificator magnicon funcţionînd ca excitatoare a unui alternator şi reglînd tensiunea alternatorului la o valoare constantă, în întregul său domeniu de încărcare. Circuitul de comandă este alimentat de către un mic redresor uscat, conectat la bornele alternatorului. Pentru a avea o tensiune la borne constantă cînd sarcina variază, curentul din circuitul de comandă trebuie să rămînă constant aşa încît tensiuni de ieşire de valori mai mari se obţin înseriind în circuit rezistenţe. O schemă tipică de alternator avînd ca excitatoare un magnicon este reprezentată în fig. 4-14.

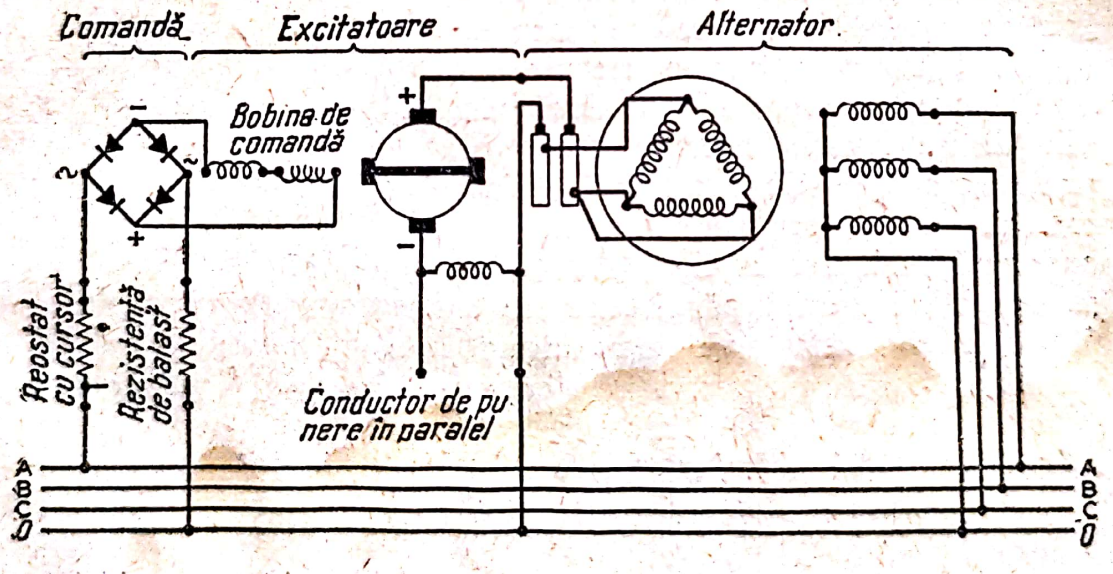


Fig. 4-14. Schemă tipică a unui grup magnicon-alternator.

Dacă excitaţia la sarcina nominală este dată numai de circuitul de comandă (în regim permanent), se presupune că curentul de comandă este de 0,95 A (fig. 4-12). Tensiunea de ieşire a excita-

toarei este reprezentată prin *de* pentru sarcina nominală şi prin d_1e_1 pentru o sarcină mică la o valoare presupusă de 0,975 A. Dacă excitaţia este dată de circuitul de comandă şi bobinajul de compundare, compundarea fiind pentru o valoare constantă, curentul de comandă nu se va abate de la valoarea unitate şi bobinajul de compundare va alimenta excitaţia cu aproximativ $ac=2ab=ed$.

Dacă se conectează o sarcină, curentul de comandă scade tranzitoriu, spre exemplu cu 10%, de la 1,0 la 0,9 A, foarte repede, deoarece circuitul de comandă are o inductanţă scăzută, avînd partea mai mare a bobinajului de partea saturată a polului. Scăderea aceasta tranzitorie produce aproape instantaneu o diferenţă de flux *fh* (fig. 4-12) care la rîndul ei va produce (după un interval de aproximativ 1/25 s) o forţă electromotoare *fh* la bornele magniconului şi deci pe excitaţia alternatorului. În momentul care precede conectarea sarcinii, exista forţa magnetomotoare sau fluxul de mers în gol $ab=gh$, iar reducerea de la 1,0 la 0,9 A a produs *fg*, totalul fiind $(fg+gh)=fh$. Cu o excitatoare suficient de mare pentru a permite efectele tranzitorii fără saturaţie nedorită, forţa electromotoare *fh* va depăşi valoarea necesară menţinerii sarcinii nominale. Ea va exercita prin aceasta o forţare bruscă (sau o tensiune limită ridicată) asupra excitaţiei alternatorului, ceea ce va accelera viteza de variaţie a curentului de excitaţie şi, dacă alternatorul este bine dimensionat, abaterea rezultantă va dura numai cîteva perioade.

Rolul spirei de amortizare din cupru masiv, care înconjoară partea saturată a polului este de a menţine fluxul de referinţă constant pentru o scurtă perioadă de timp, cît durează o variaţie tranzitorie bruscă a sarcinii ca cea descrisă mai sus. Spira serveşte de asemenea pentru a atenua pulsaţia curentului redresat în circuitul de comandă.

Altă metodă

Au fost create generatoare şi excitatoare magnicon folosind drept element neliniar rezistenţele ceramice cunoscute sub numele de metrosil. În această construcţie, tolele statorului sînt exact la fel ca cele din fig. 4-1, dar dintele de stabilizare capătă o fixare permanentă, iar bobinele de comandă se întind în mod egal asupra unei arii mai mari a polilor.

Bobinajul de stabilizare (fig. 4-15), şuntat prin rezistenţa neliniară *M*, este conectat în serie cu bobinajul de opoziţie, şi forţele lor magnetomotoare sînt opuse. Dacă tensiunea aplicată circuitului

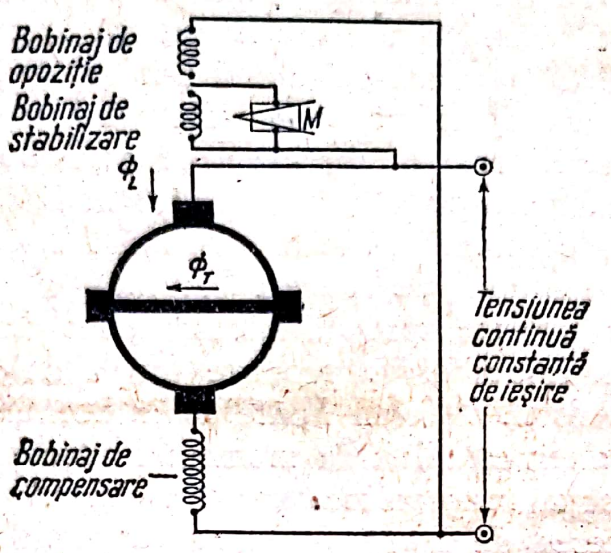


Fig. 4-15. Generator magnicon de tensiune constantă.

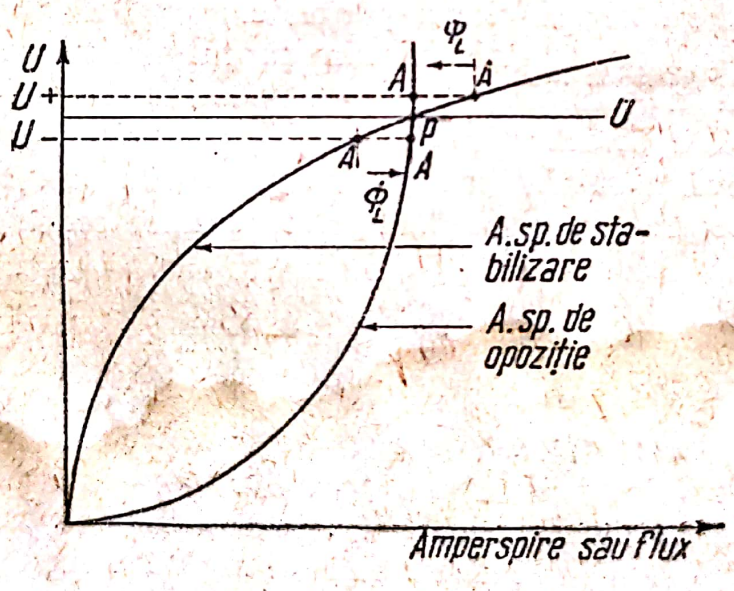


Fig. 4-16. Curbele de variație a tensiunii în funcție de amperspire, pentru circuitul de comandă din fig. 4-15.

de comandă creşte de la zero, amperspirele bobinajului de stabilizare depăşesc la început pe cele ale bobinajului de opoziţie, care are spire mai puţine. Rezistenţa neliniară *M*, care şuntează bobina de stabilizare, variază aproximativ invers proporţional cu cubul tensiunii aplicate, adică rezistenţa descreşte rapid cu valoarea tensiunii aplicate şi în consecinţă partea din curentul total al bobinajului de opoziţie care trece prin bobinajul de stabilizare, devine tot mai mică, pe măsură ce tensiunea aplicată creşte. La punctul *P* (fig. 4-16) amperspirele celor două bobinaje sînt egale şi de sens opus şi din nou toată forţa magnetomotoare de magnetizare este dată de către bobinele de compensare.

Cînd se cere să se menţină o tensiune, la o valoare constantă, linia de tensiune constantă, *UU* trece prin punctul *P* (fig. 4-16), unde amperspirele bobinajului de opoziţie egalează pe cele datorate bobinajului de stabilizare. Dacă tensiunea tinde să crească la *U+* sau să scadă la *U—* datorită unei variaţii de viteză sau de sarcină, un număr mare de amperspire *AA* (fig. 4-16) produc un flux de comandă corespunzător în sens opus, care readuce rapid tensiunea de ieşire la valoarea sa constantă *U*. Prin aceasta orice tendinţă de variaţie a tensiunii, provocată de schimbări ale vitezei sau ale sarcinii, este împiedicată în mod automat. Această metodă este folosită în special la generatoare magnicon mici autoexcitate cu puteri pînă la 5 kW, unde se cere o tensiune de ieşire constantă într-un domeniu foarte larg de viteze, cum ar fi, spre exemplu, cazul unei turbine hidraulice. Ambele tipuri de reglaj, adică metoda „polului magnetic" şi metoda „metrosil", sînt la fel de eficiente pentru astfel de aplicaţii.

Încercări

Se pare că pentru o mai bună înţelegere a modului corect de executare a încercărilor la aceste maşini, este necesară discutarea funcţionării lor în regim tranzitoriu. Deoarece o foarte mare parte a încercărilor curente urmează o cale comună cu aceea a încercărilor oricărei maşini de curent continuu obişnuite, nu trebuie menţionate decît puţine lucruri în legătură cu aceasta. Randamentul poate fi determinat prin metoda curentă a raportării puterii utile către puterea absorbită, sau prin însumarea pierderilor şi deci nu există nimic special de semnalat în această privinţă. Periile se aşază iniţial pe axele neutre magnetice şi apoi, trecînd un curent prin indus şi prin bobinajul de compensare, se rotesc periile pe colier, pînă se constată atingerea poziţiei corecte. În timpul acestei operaţii periile scurt-

Scanned with OKEN Scanner

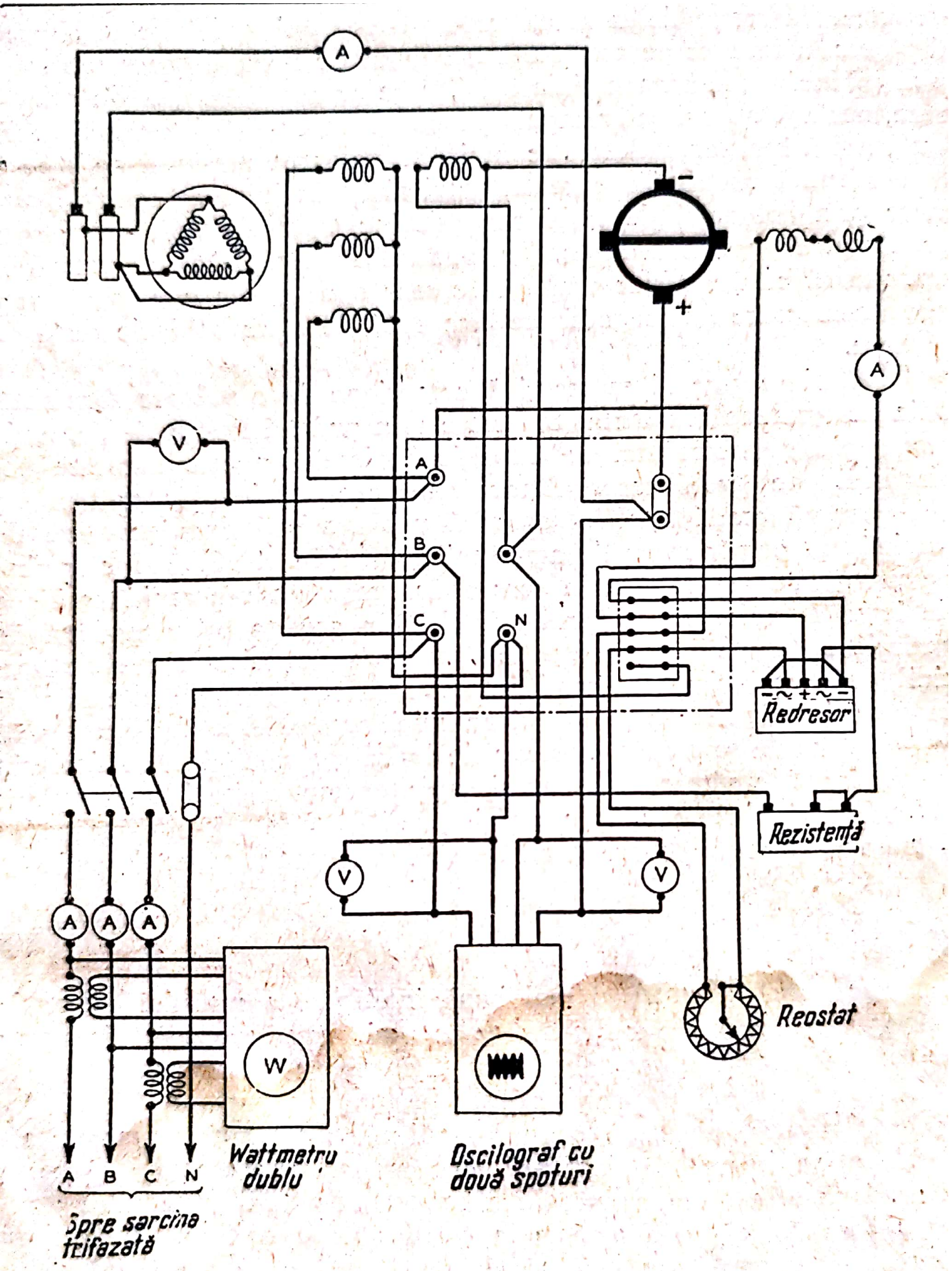


Fig. 4-17. Schemă de montaj tipică pentru încercarea alternatorului cu excitatoare magnicon în regim de sarcină permanentă și tranzitorie.

Scanned with OKEN Scanner

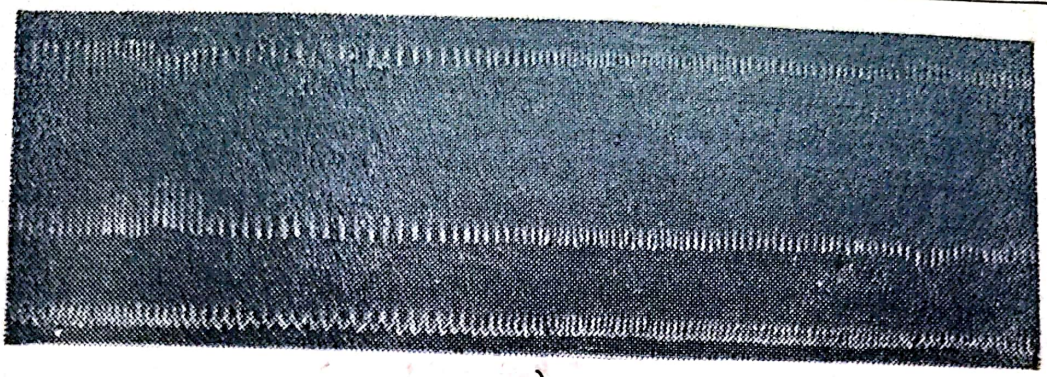
circuitate trebuie ridicate. Un factor important care influenţează funcţionarea maşinii este ajustarea corectă a periei în raport cu periferia colectorului. Înainte de a începe încercările, toate periile trebuie examinate pentru a ne asigura că întreaga faţă a periei are contact uniform, acest lucru fiind important în cea mai mare măsură pentru periile axei scurtcircuitate, unde rezistenţa de contact are o influenţă importantă asupra calităţilor de amplificare ale maşinii. Aşezarea definitivă a periilor este oarecum critică la acest tip de maşină şi dacă una dintre perii nu este corect rodată cînd s-a fixat poziţia definitivă, gradul de compundare poate să varieze mult după rodarea ei ulterioară. În această privinţă trebuie stabilite unele procedee cît se poate de precise. În cele ce urmează se vor da cîteva exemple tipice de funcţionare a acestor maşini în regim tranzitoriu.

Să considerăm întîi fig. 4-17; aceasta reprezintă o schemă tipică pentru încercarea unui alternator excitat de un magnicon, în regim de sarcină permanentă şi tranzitorie. În cazul dat, avem de-a face cu o maşină de 31,25 kVA (25 kW), la 220 V, 50 Hz, antrenată cu 1 500 rot/min. Tensiunea trebuie menţinută constantă în limitele de ±2,5% de la mersul în gol pînă la sarcina nominală. Tabela 1

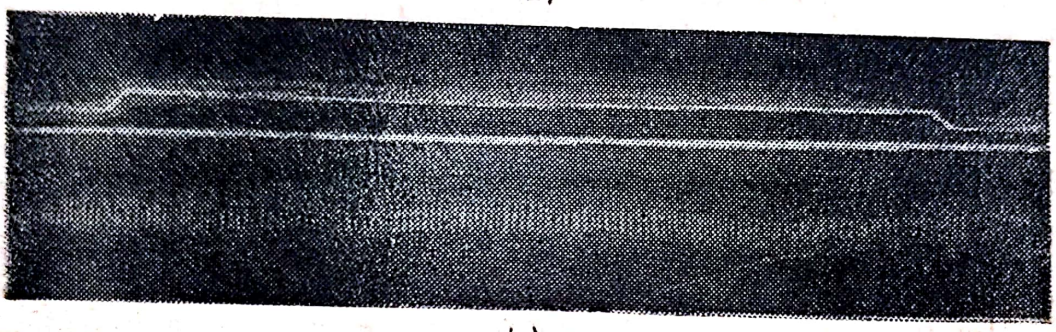
Tabela 1. **Variaţia tensiunii alternatorului cu sarcina**

Tensiunea alternatorului, în V	Variaţia procentuală	Curentul de sarcină pe fază, în A	Curentul de excitaţie, în A	Tensiunea de excitaţie, în V	Curentul de comandă, în A
224	0	0	16,4	8,5	0,71
223	0,45	15	18,8	9,5	0,7
221	1,34	30	20,5	10,5	0,69
220	1,79	45	27	14	0,69
220	1,79	60	29	14,5	0,69
219	2,23	75	29,8	15,2	0,68
218,5	2,46	80	30,4	15,5	0,67

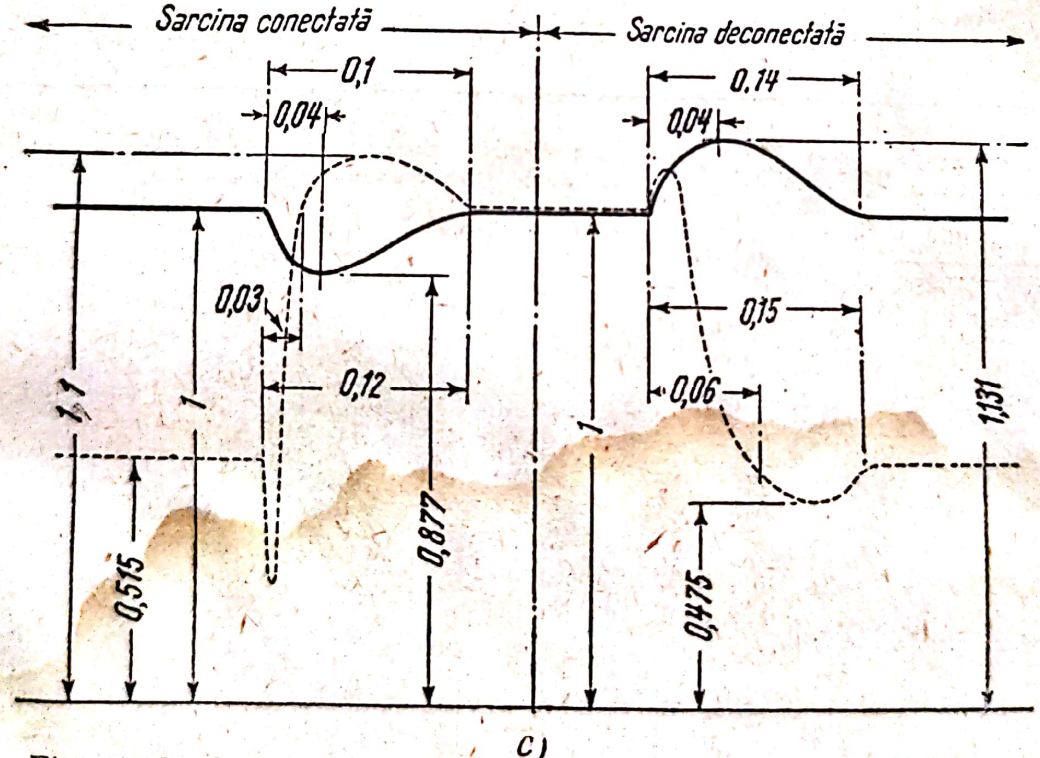
dă diferite valori de regim permanent, citite într-un domeniu de sarcină pînă la sarcina nominală. Oscilogramele efectuate asupra maşinii (fig. 4-18 *a* şi fig 4-18 *b*) arată variaţiile tranzitorii care au loc în alternator şi tensiunea de ieşire a excitatoarei, atunci cînd se conectează brusc sarcina nominală. Pe verticală, în fig. 4-18 *c* mărimile sînt exprimate în valori relative faţă de valorile corespunzătoare sarcinii nominale, iar pe orizontală este trecut timpul, în



a)



b)



c)

Fig. 4-18. Oscilograme ale tensiunii alternatorului și excitatoarei, înregistrate în regim tranzitoriu:

a — Tensiunea alternatorului; *b* — Tensiunea excitatoarei (sau a excitației alternatorului); *c* — Valorile verticale: fracțiuni din valoarea corespunzătoare sarcinii nominale. Fără scară. Valori orizontale: — timpul, în secunde — Tensiunea alternatorului — Tensiunea excitației alternatorului.

Scanned with OKEN Scanner

secunde. Din examinarea acestei figuri se poate obține o idee asupra răspunsului foarte rapid al acestei mașini, la variații de sarcină. Se poate observa că timpul de revenire completă este de ordinul a numai 0,1 s, adică de aproximativ 5 perioade, cînd se conectează sarcina nominală și de 0,14 s, atunci cînd se deconectează sarcina. Excitatoarea răspunde extrem de rapid, timpul necesar pentru a atinge valoarea corespunzătoare sarcinii nominale fiind numai 0,03 s.

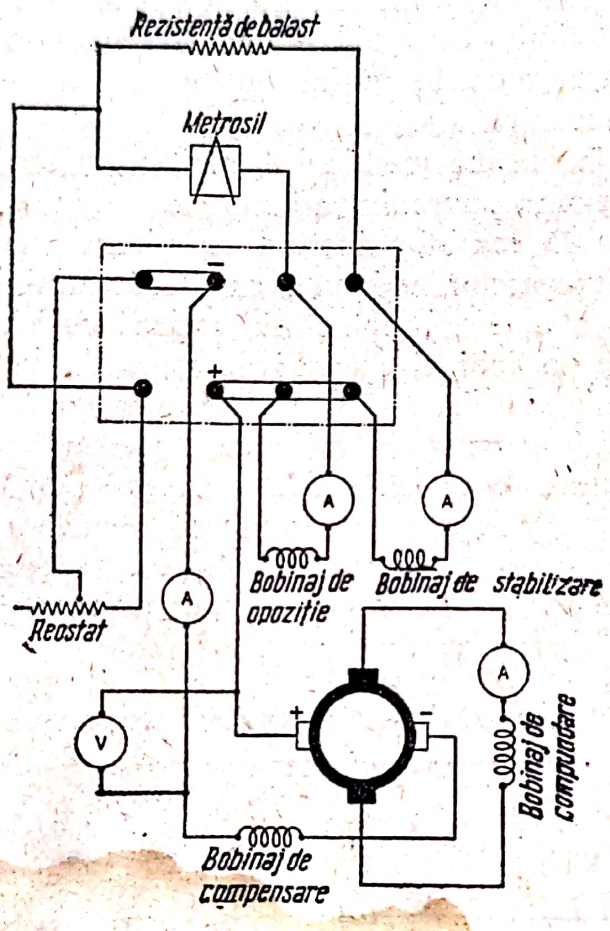


Fig. 4-19. Schemă de montaj pentru încercarea generatorului magnicon autoexcitat, de tipul „metrosil".

Fig. 4-19 reprezintă schema de încercare a unui generator magnicon autoexcitat cu rezistență metrosil, cu puterea de 1,3 kW, 200 V în domeniul de viteze de la 1 200 pînă la 2 400 rot/min. Un punct care merită să fie menționat în legătură cu acest tip de mașini este faptul că dacă se folosește ca excitatoare pentru o

mașină de curent continuu mare, bobinajele de comandă fiind bobinate în jurul aceloraşi poli, ele au inductanță mutuală. Bobinele opuse avînd inductanță mutuală pot fi comparate cu un corp suspendat liber între două resorturi dintr-un sistem mecanic; o perturbare într-una din ele este reflectată repetat între bobine Astfel de sisteme sînt arareori lipsite de oscilații nedorite. Stabilitatea în acest caz nu este atît de bună ca la magniconul de tipul cu pol magnetic şi majoritatea mașinilor de acest gen reclamă amortizoare externe, cum ar fi transformatoarele de şoc sau de injectare pentru limitarea oscilațiilor. Acestea, la rîndul lor, au tendința să reducă efectele inițial dorite, în special în legătură cu rapiditatea răspunsului.

Revenind la mașina menționată mai sus, trebuie arătat că compundarea prin uşoara supradimensionare a bobinelor de compensare, aşa cum se face la mașinile lucrînd cu viteză constantă, nu corespunde în cazul agregatelor acționate cu viteză variabilă, deoarece forța magnetomotoare a acestor bobine nu variază cu viteză. Din această cauză se prevede un bobinaj pe polii de comandă, conectat în serie cu periile scurtcircuitate (fig. 4-19) şi acesta asigură caracteristica de ieşire cerută. La un astfel de magnicon, compundarea este deosebit de critică şi adesea este necesar a se regla numărul de spire ale bobinajului de compundare prin încercări, pentru a se atinge rezultatele necesare. Tabela 2 cuprinde rezultatele concrete ale încercărilor unei astfel de mașini, la care s-a obținut un reglaj foarte strîns în întreg domeniul de viteze considerat.

Tabela 2. **Variația tensiunii cu viteza**

Viteza generatorului, în rot/min	Tensiunea generatorului, în V	Curentul de sarcină, în A	Curentul în bobinajul de stabilizare, în A	Curentul în bobinajul de opoziție, în A
1200	200	6,6	0,39	0,41
1400	203	6,85	0,41	0,41
1600	204	6,8	0,41	0,41
1800	204	6,8	0,41	0,41
2000	205	6,85	0,41	0,41
2200	205	6,85	0,41	0,41
2400	204	6,8	0,4	0,41
1200	200	0	0,39	0,39
1800	200	0	0,39	0,39
2400	200	0	0,39	0,39

Scanned with OKEN Scanner

Amplificatoarele magnicon pot fi supracompensate, total compensate sau subcompensate şi deplasînd periile contrar sensului de rotaţie maşina are o curbă crescătoare în sarcină; deplasarea periilor în sensul rotaţiei are un efect opus. În cazul cînd magniconul de tipul cu pol magnetic este folosit ca excitatoare a unei alte maşini, aproape orice compundare dorită se poate obţine prin metoda deplasării periilor.

Întreţinere

Întreţinerea magniconului nu diferă de întreţinerea oricărui alt generator de curent continuu; sînt însă aici de menţionat cîteva probleme de importanţă deosebită.

Întreţinerea normală a colectorului trebuie executată în mod regulat.

Periile care prezintă uzură înaintată, aşchieri sau crăpături, trebuie înlocuite cu altele de aceeaşi mărime şi duritate. *Este important să se folosească duritatea corectă.* Periile noi trebuie aplicate cu grijă pe periferia colectorului şi apoi ajustate pînă ce se polizează întreaga suprafaţă a periei.

Acolo unde circuitul de comandă include un redresor sau o rezistenţă metrosil, acestea nu necesită îngrijire specială dar toate elementele de reglare, cum ar fi rezistenţele bobinate, cu contacte alunecătoare, trebuie şterse cu o cîrpă unsă cu vaselină, pentru a le menţine în bună stare.

Date generale

Alternatoare folosind excitatoare magnicon au fost executate cu puteri de la 3 la 200 kVA, trifazate, cu 3 sau 4 conductoare, 190—600 V; 50 sau 60 Hz, cu 750, 1 000, 1 500 şi 1 800 rot/min. Cu toate acestea, magnicoanele pot fi folosite ca excitatoare pînă la orice putere dorită, neexistînd nici o condiţie care să limiteze puterea la care acest sistem poate fi utilizat.

Au fost produse de asemenea alternatoare monofazate cu excitatoare magnicon, pînă la puteri în jurul a 50 kVA.

Generatoare de curent continuu, folosind magniconul drept excitatoare se pot găsi pînă la puteri de 250 kW şi aceste maşini sînt adesea de tipul celor cu viteză variabilă, domeniul de viteze acoperit în mod normal fiind de ordinul de 2 : 1. Au fost de asemenea fabri-

Scanned with OKEN Scanner

cate maşini cu domeniul de viteze pînă la 3 : 1, dar dimensionarea este mai dificilă, datorită cîmpurilor de excitaţie foarte slabe la viteze mai înalte. Generatoare magnicon cu autoexcitaţie s-au fabricat cu puteri pînă la aproximativ 7 kW şi de obicei acestea sînt de asemenea maşini cu viteză variabilă. Ele sînt utilizate frecvent împreună cu turbinele hidraulice.

Folosind magniconul pentru reglajul tensiunii proprii sau a unei alte maşini, în condiţii normale de lucru, tensiunea reglată variază în limitele de ±2,5% de la mersul în gol la sarcina nominală, sau în întreg domeniul vitezelor de lucru, în cazul maşinilor cu viteza variabilă. Prin construcţii speciale, se pot obţine limite mult mai strînse.

Autorul mulţumeşte Institutului Inginerilor Electricieni pentru permisiunea de a folosi fig. 4-12, 13 şi 18.

Scanned with OKEN Scanner

5. CONSTRUCȚIA ȘI FUNCȚIONAREA MAGNAVOLTULUI

E. A. BINNEY,

inginer șef, Traction Development Department, The English Electric Company Ltd.)*

Prin termenul *magnavolt,***) denumirea comercială înregistrată pentru mașina brevetată și fabricată de The English Electric Co. Ltd, se înțeleg trei tipuri de amplificatoare rotative. Cele trei tipuri permit realizarea unei game relativ largi de caracteristici de funcționare și, de aceea, trebuie studiate fiecare în parte.

MAGNAVOLTUL CU UN SINGUR ETAJ

Construcția

Magnavoltul cu un singur etaj este, în principiu, o mașină de curent continuu obișnuită, cu un întrefier mic și inducții scăzute, scopul fiind obținerea unei curbe de magnetizare liniare. Ea poate avea doi sau mai mulți poli principali. Polii și circuitul magnetic al jugului sînt lamelate. Bobinajul de excitație poate fi proiectat fie ca bobinaj derivație, fie ca bobinaj serie. De asemenea, indusul poate cuprinde un singur bobinaj de tipul obișnuit, legat la un colector, sau poate avea două bobinaje, fiecare cu colectorul său propriu. La ultimul tip, un bobinaj este proiectat să facă față cerințelor referitoare la mărimile de ieșire, în timp ce al doilea bobinaj este proiectat pentru o tensiune redusă necesară pentru a alimenta o excitație în derivație.

---

*) Departamentul Dezvoltării Tracțiunii, Compania Engleză de Electricitate *(N. red. E. T.)*.

**)Termenul „magnavolt" este echivalent cu cel de „generator cu autoexcitație acordată" folosit uneori în literatura de specialitate. „Magnavolt cu excitație serie" corespunde termenului „rototrol"; „Magnavolt cu excitație derivație" corespunde termenului „regulex". *(N. red. E. T.)*.

Scanned with OKEN Scanner

Pe lîngă excitația normală, sînt prevăzute pe aceiași poli unul sau mai multe bobinaje de excitație suplimentare, fiecare avînd conexiuni externe care să permită o alimentare individuală.

Principiul de funcționare

O mașină de curent continuu se autoexcită atunci cînd căderea de tensiune în circuitul de excitație pentru un curent de excitație dat (sub zona de saturație) este mai mică decît tensiunea reală generată de un curent de excitație de aceeași valoare, sau, altfel spus, dacă dreapta rezistenței $i_e \times R$ intersectează caracteristica de mers în gol, ca dreapta C în fig. 5-1. Dreapta B se află deasupra caracteristicii de mers în gol A, ceea ce arată că rezistența circuitului de excitație corespunzător este prea mare pentru a permite autoexcitarea.

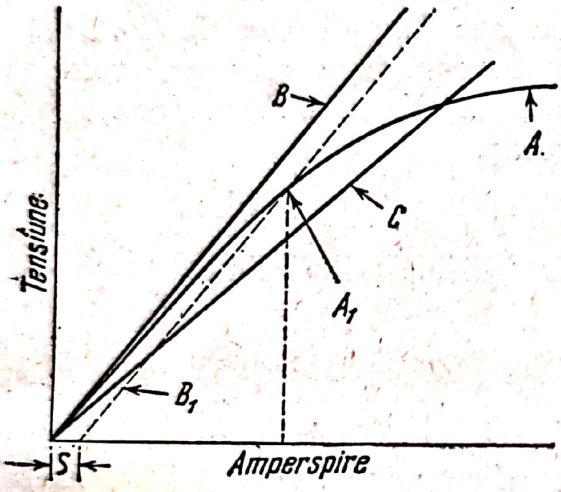


Fig. 5-1. Curbă arătînd principiul de funcționare a magnavoltului cu un singur etaj.

Se caută să se realizeze o suprapunere cît mai completă a acestei drepte cu dreapta întrefierului, adică cu partea dreaptă a caracteristicii. Pentru aceasta este necesar ca magnavoltul să se rotească cu o viteză practic constantă, iar variația rezistenței datorită încălzirii să fie menținută cît mai mică posibil.

Referindu-ne la fig. 5-1, dacă un bobinaj de excitație independentă produce un număr mic S de amperspire iar dreapta de rezistență a mașinii este reprezentată prin dreapta B, punctul de funcționare a mașinii va fi punctul A_1, aflat pe linia punctată B_1, paralelă cu B.

În fig. 5-2 este reprezentată o schemă de conexiuni, în care este prevăzută o rezistență A în serie cu bobinajul de autoexcitație derivație D. Aceasta permite ca circuitul să fie „acordat" pentru a acoperi dreapta de rezistență și caracteristica. Bobinajul C servește pentru realizarea unei excitații externe (amperspirele S din fig. 5-1) asociată circuitului supus reglajului magnavoltului. Mai poate fi

prevăzută și o a doua excitație *R* care poate fi alimentată dintr-o sursă reglabilă și folosită ca o „excitație de referință". În cazul acesta, excitația de comandă *C* lucrează în sens opus excitației *R*. Rezultanta acestor două excitații poate face ca mașina să se amorseze în sens pozitiv ca în fig. 5-1, sau *S* poate fi inversat, în care caz tensiunea va crește în sens negativ.

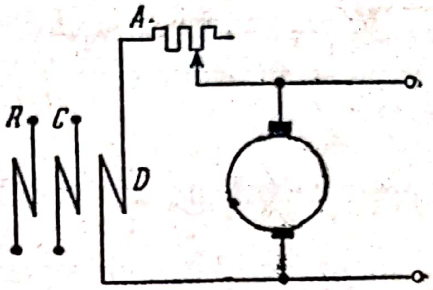


Fig. 5-2. Schema de conexiune a magnavoltului, cu un singur etaj cu excitație în derivație.

Performanțe

La un amplificator rotativ cele două caracteristici importante sînt amplificarea și viteza de răspuns. Magnavoltul de care vorbim are numai un singur etaj de amplificare. Amplificarea este mare, însă este influențată de alți factori ca viteza și creșterea temperaturii bobinajului de excitație și prin urmare ea poate fi modificată în sens invers. Cel mai important factor este reluctanța magnetică; cu cît aceasta este mai mică, cu atît amplificarea este mai mare. Pentru aceasta, întrefierul trebuie să fie mic și sînt recomandabile pentru indus crestăturile semiînchise. Un alt factor este valoarea magnetismului remanent obișnuit și efectul său asupra ciclului de histerezis al curbei de magnetizare. Este necesară folosirea oțelului laminat cu forța coercitivă redusă, pentru a evita un ciclu de histerezis de lățime prea mare.

Viteza de răspuns este desigur mică în comparație cu cea a unei mașini cu două etaje. Bobinajul principal și bobinajele de reglaj sînt așezate pe aceeași axă magnetică. De aceea, orice variație a forței magnetomotoare a bobinajului de reglaj este întîrziată de acțiunea bobinajului principal, care caută să se opună variației fluxului. Rezultă că folosirea acestui tip de amplificator foarte simplu este oarecum restrînsă. Cu toate acestea, el a fost utilizat cu succes oriunde nu se cere o viteză de răspuns prea mare.

MAGNAVOLTUL CU DOUĂ ETAJE

Ca dispoziție a părților mecanice și a bobinajelor, magnavoltul cu două etaje este în fond o mașină de curent continuu obișnuită,

cuprinzînd însă circuitele electrice și magnetice a două mașini avînd respectiv p și $2p$ perechi de poli. Crestăturile miezului indusului poartă două bobinaje distincte, fiecare dintre ele fiind legat la un colector situat la cîte un capăt al mașinii. La puteri mici, numărul polilor magnetici este doi și patru, existînd patru „poli fizici" (constructiv). Mașinile mai mari au patru și opt poli, existînd opt „poli fizici".

Magnavoltul cu sistem bi- și tetrapolar

În fig. 5-3 sînt reprezentate conexiunile electrice ale magnavoltului cu sistem bi- și tetrapolar, bobinajele indusului fiind reprezentate ca două cercuri cu centrele distanțate, iar bobinele de excitație fiind indicate pe axe polare separate. În realitate, bobinele bipolare conectate în serie ocupă cîte o pereche de poli fizici pentru a forma un singur pol magnetic, bobinele fiecărei perechi producînd aceeași polaritate, așa cum se vede în fig. 5-4 *a*. Periile sînt plasate pe axa

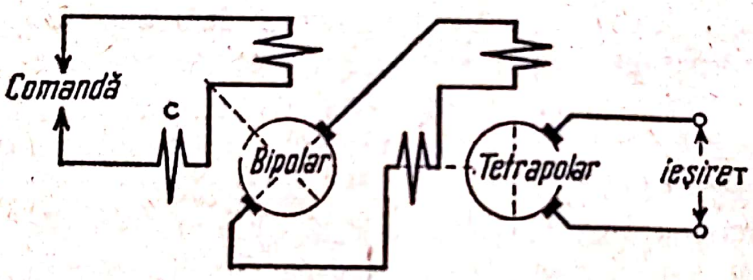


Fig. 5-3. Schema sistemului bi- și tetrapolar al unui magnavolt cu două etaje.

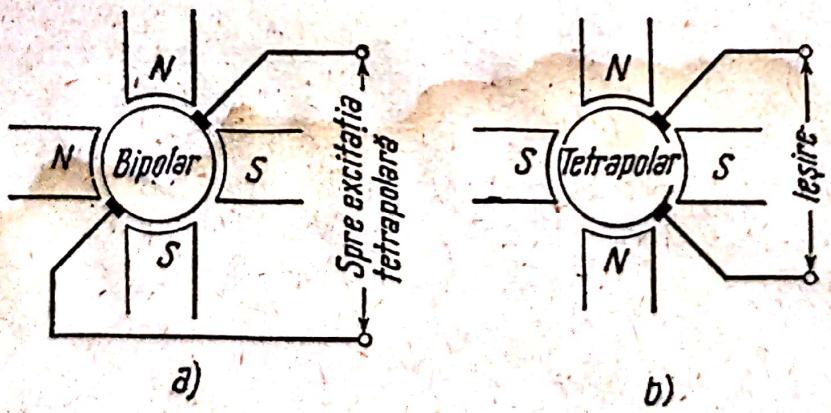


Fig. 5-4. Polaritatea excitației la sistemul bi- și tetrapolar din fig. 5-3:
a — excitația de comandă bipolară; *b* — excitația tetrapolară.

neutră și sînt conectate la un ansamblu de bobine de excitație formînd un sistem magnetic tetrapolar, așa cum se arată în fig. 5-4 *b*.

Bobinajul indusului bipolar îmbrățișează doi poli fizici; de

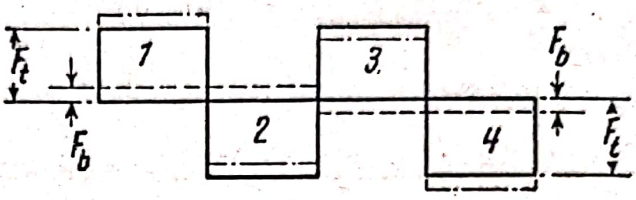


Fig. 5-5. Distribuția fluxului în sistemul de excitație bi- și tetrapolar, suprapus la magnavoltul cu două etaje.

aceea, fluxul magnetic tetrapolar nu poate genera o tensiune între periile bipolare. Bobinele de excitație bipolare, deși ocupă aceleași axe fizice ca și bobinele tetrapolare, nu sînt totuși influențate de o variație a fluxului tetrapolar, deoarece inductanța mutuală dintre bobinele bipolare și tetrapolare ocupînd miezul unui pol, este în sens opus cu aceea a bobinelor de pe polul următor.

Forța magnetomotoare rezultantă

În fig. 5-5 este reprezentată forța magnetomotoare bipolară și tetrapolară, cea corespunzătoare sistemului bipolar fiind notată cu F_b, iar cea corespunzătoare sistemului tetrapolar, cu F_t. Este clar că fluxul rezultant nu va fi distribuit în mod simetric, deoarece considerînd sistemul bipolar, efectul forței magnetomotoare tetrapolare constă în a adăuga valoarea F_t în dreptul polilor 1 și 4 și în a scădea pe F_t în dreptul polilor 2 și 3. Prin urmare, inducția de întrefier în dreptul polilor 2 și 3 este proporțională cu $F_t - F_b$, iar în dreptul polilor 1 și 4, cu $F_t + F_b$. Evident că tensiunea utilă generată în bobinajul bipolar al indusului este diferența dintre aceea datorită polilor 1+4 și 2+3. Presupunînd că nu s-a ajuns la saturație, tensiunea rezultantă poate fi considerată proporțională cu forța magnetomotoare totală rezultantă, adică cu:

$$2(F_t + F_b) - 2(F_t - F_b) = 4F_b.$$

Astfel, forța magnetomotoare tetrapolară suprapusă, nu modifică tensiunea generată în indusul bipolar și sistemul este prin urmare stabil.

Forța magnetomotoare rezultantă este apoi modificată de ambele reacții ale bobinajelor, bipolar și tetrapolar ale indusului. Totuși

și de data aceasta forța magnetomotoare bipolară rezultantă rămîne neschimbată, cu condiția ca circuitul magnetic să nu fie saturat.

Pentru toate utilizările practice, circuitele magnetice bipolare și tetrapolare sînt independente, fiecare din ele acționînd numai asupra bobinajului corespunzător al indusului.

Sensibilitatea și viteza de răspuns

Funcționarea amplificatorului cu două etaje este deci aceeași ca și în cazul cînd fiecare sistem magnetic ar fi independent, adică este identică cu funcționarea unei mașini bipolare și a uneia tetrapolare, conectate ca în fig. 5-3. Magnavoltul prezintă însă avantajul că fluxul foarte mic necesar primului etaj, respectiv numărul amperspirelor cerut de bobinajul bipolar, este determinat de reluctanța întrefierului unei mașini proiectate pentru fluxul mult mai mare al mașinii tetrapolare. În acest fel, sensibilitatea sa este în mod corespunzător mai mare.

Întrucît viteza de creștere a curentului în excitația bipolară, adică în excitația de comandă, este independentă de sistemul magnetic tetrapolar, răspunsul primului etaj depinde de inductanța și rezistența excitației de comandă.

Etajul al doilea cuprinde bobinajul bipolar al indusului și bobinajul de excitație tetrapolar. Bobinajul rotorului se află sub acțiunea fluxului bipolar foarte mic și, prin urmare, necesită un număr de spire relativ mare pentru a realiza amperspirele necesare excitației tetrapolare. Etajul al doilea are deci o rezervă foarte mare de tensiune disponibilă, pentru a forța o variație rapidă a fluxului tetrapolar, ca răspuns la o variație a curentului excitației bipolare. Rezistența relativ mare a indusului reduce la minimum influența căderii de tensiune la perii, așa încît aceasta are un efect neînsemnat asupra sensibilității mașinii.

În etajul al doilea, raportul dintre rezistență și inductanță este mare, astfel încît se obține un răspuns rapid la o variație de tensiune în indusul bipolar. Rezultatul este că magnavoltul cu două etaje are o viteză de răspuns mare și este foarte sensibil la variațiile intensității semnalului.

Comutația

Folosirea unor bobinaje ale indusului separate pentru primul și al doilea etaj prezintă avantajul că în acest fel se simplifică pro-

Scanned with OKEN Scanner

blema comutației și că tensiunea indusului pentru primul etaj poate fi aleasă fără a fi influențată sau limitată de cerințele etajului al doilea sau ale mărimilor de ieșire.

În felul acesta, comutația indusului bipolar este bună și în mod normal nu este necesar să se prevadă poli auxiliari. Pentru indusul tetrapolar pot fi prevăzuți numai doi poli auxiliari, ca la o mașină normală tetrapolară, proiectarea fiind bazată în întregime pe parametrii unei mașini tetrapolare. Ei sînt așezați de preferință perpendicular pe axa neutră magnetică a sistemului bipolar, ca în fig. 5-6 *a*. În această poziție nu este necesar să se ia nici o măsură în ce privește reacția indusului bipolar. Cînd însă sînt necesari 4 poli auxiliari, cei doi poli plasați pe axa neutră magnetică a sistemului bipolar, trebuie prevăzuți cu bobine potrivite atît pentru zona de comutație a sistemului bipolar cît și pentru cerințele sistemului tetrapolar (v. fig. 5-6, *b*).

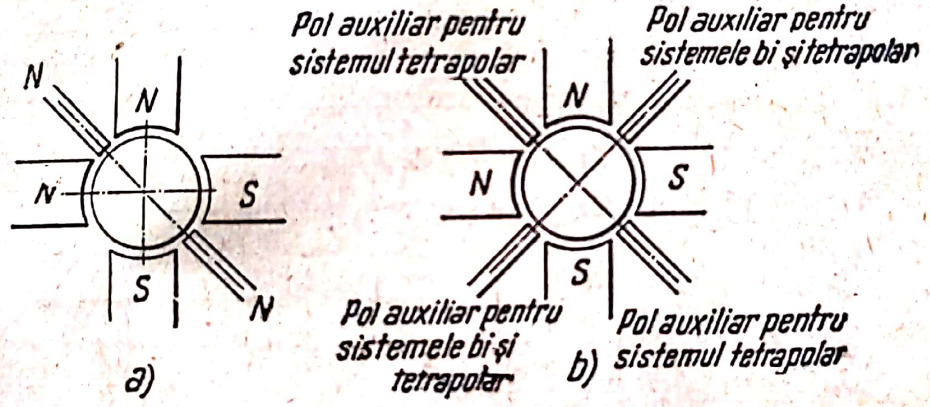


Fig. 5-6. Dispoziția polilor auxiliari:

a — poziția polilor auxiliari ai sistemului tetrapolar în raport cu polii sistemului bipolar, cînd sînt necesari numai doi poli auxiliari; *b* — poziția polilor auxiliari, cînd sînt necesari patru poli auxiliari pentru sistemele bipolar și tetrapolar.

Atunci cînd condițiile de funcționare sînt astfel încît există o proporționalitate directă între curenții din indusurile sistemului bipolar și tetrapolar, bobinele polilor auxiliari ai sistemelor bipolor și tetrapolar ar putea fi combinate, de exemplu, s-ar putea folosi o singură bobină pe pol, parcursă de curentul din indus al sistemului tetrapolar, dar de obicei condițiile de lucru impun existența unor bobine independente, ca în cazul indusului tetrapolar utilizat într-un sistem survoltor-devoltor. În acest aranjament, curentul sistemului

bipolar poate varia între un maxim pozitiv și unul negativ, în timp ce curentul sistemului tetrapolar rămîne constant sau variază numai în domeniul pozitiv.

Reacția de amplificare și răspunsul

Magnavoltul cu două etaje va funcționa ca amplificator într-un domeniu mare de viteze. Sensibilitatea sa este însă maximă la viteza cea mai mare, deoarece tensiunea indusă, atît în sistemul bipolar cît și în cel tetrapolar, este proporțională cu viteza. Amplificarea totală este deci proporțională cu pătratul vitezei.

Factorul de amplificare depinde și de căderea de tensiune în circuitul bipolar. Este evident că cu cît este mai mare secțiunea cuprului utilizat în indusul bipolar și în excitația sistemului tetrapolar, cu atît este mai puternic răspunsul la un curent dat al excitației de comandă. Prin urmare, dacă se realizează o acțiune de compundare în circuitul bipolar, curentul rezultant al sistemului bipolar va corespunde sumei amperspirelor de comandă și ale excitației compund și deci amplificarea se mărește. Cînd compundarea este egală cu intensitatea inițială a excitației de comandă, mașina devine insta-

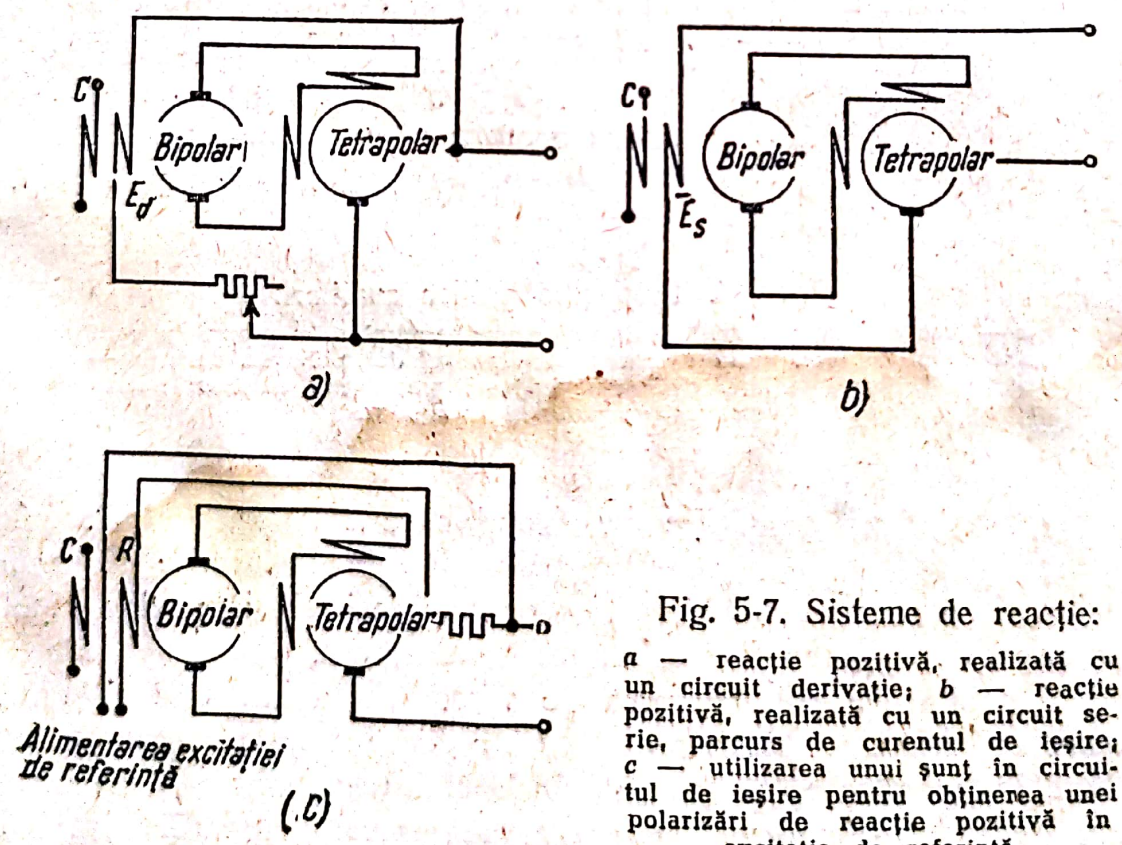


Fig. 5-7. Sisteme de reacție:

a — reacție pozitivă, realizată cu un circuit derivație; *b* — reacție pozitivă, realizată cu un circuit serie, parcurs de curentul de ieșire; *c* — utilizarea unui șunt în circuitul de ieșire pentru obținerea unei polarizări de reacție pozitivă în excitația de referință.

bilă, adică tensiunea sistemului bipolar crește pînă ce va fi limitată de saturația mașinii.

Compundarea sau reacția poate fi obținută alimentînd pe diferite căi un bobinaj de excitație bipolar corespunzător. În fig. 5-7 *a*, este reprezentată o reacție derivație, bobina de excitație E_d fiind alimentată de la indusul tetrapolar.

Întrucît tensiunea indusului tetrapolar este direct proporțională cu amperspirele efective ale sistemului bipolar, cum ar fi de exemplu curentul de comandă din excitația *C*, este clar că amperspirele de reacție măresc amperspirele inițiale ale bobinei *C* și curentul va varia și el în acest mod. Apare însă o rămînere în urmă în timp, deoarece curentul în E_d este întîrziat de inductanța din circuitul de reacție. Rezultă o viteză mai mică de răspuns și aceasta poate duce repede la oscilații. Excitația de reacție poate fi conectată direct în circuitul indusului tetrapolar, ca în fig. 5-7 *b*, cu condiția ca curentul de ieșire să fie și el direct proporțional cu tensiunea.

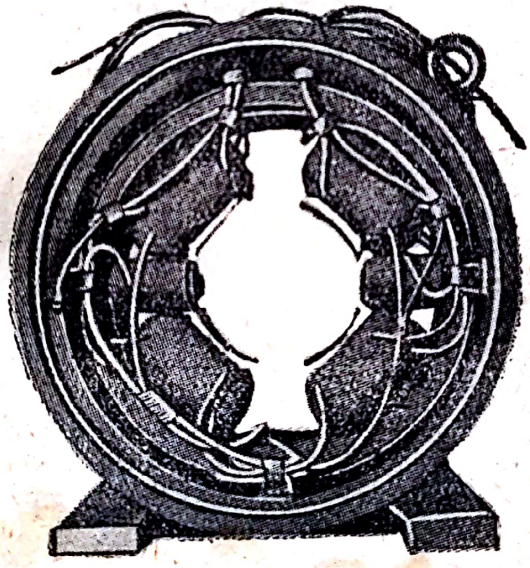


Fig. 5-8. Statorul excitatoarei magnavolt tip. E. E. 722 (se vede jugul lamelat și bobinele de excitație).

În fig. 5-7 *c* este reprezentată o schemă de montaj în care se obține un efect de reacție, survoltînd excitația de referință *R* cu o tensiune egală cu căderea de tensiune la bornele rezistenței din circuitul de ieșire.

Scanned with OKEN Scanner

Orice schemă de felul celor menționate mai sus, care mărește amplificarea naturală, produce o încetinire a răspunsului la o variație a curentului din circuitul de comandă. Creșterea sensibilității este însă foarte pronunțată. De exemplu, în cazul existenței reacției, curentul în excitația de comandă poate fi redus la o zecime din cel necesar în mașina fără reacție, pentru a obține o tensiune de ieșire dată, în

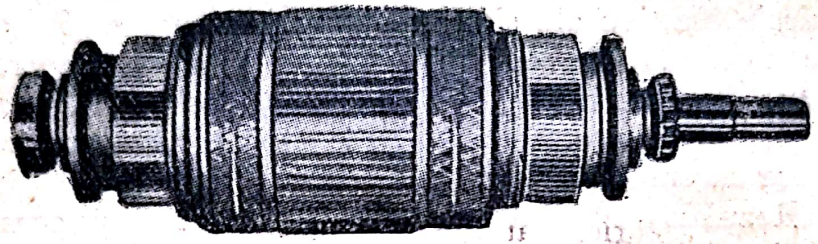


Fig. 5-9. Indusul excitatoarei magnavolt, tip. E. E. 722:
(English Electric Co. Ltd.).

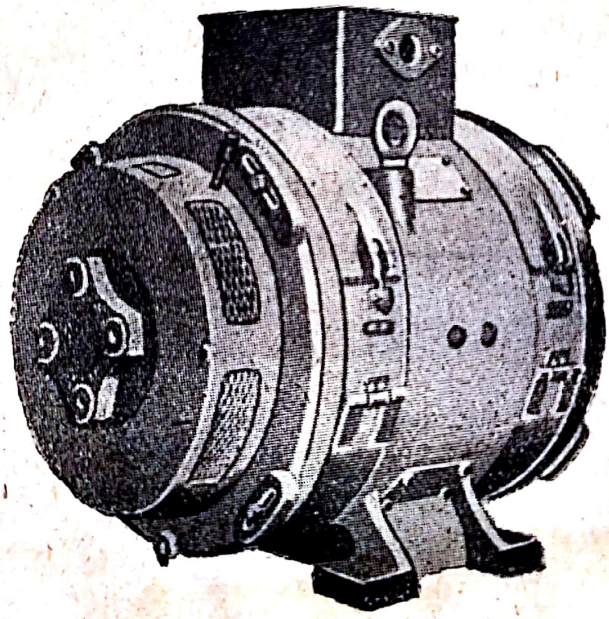


Fig. 5-10. Excitatoare magnavolt, tip. E. E. 723:
(English Electric Co. Ltd.).

schimb timpul necesar pentru a atinge această tensiune, pornind de la zero, poate să crească de la 1/4 s. la 1¼, adică de cinci ori. Cînd se cere un control foarte precis al unei mărimi dintr-o instalație, cum ar fi viteza sau tensiunea, poate fi necesară o formă oarecare de reacție, adăugîndu-se și mijloacele de stabilizare necesare.

Scanned with OKEN Scanner

Viteza de răspuns şi deci stabilitatea într-o situaţie dată poate fi mărită, mărind rezistenţa în circuitul bipolar, pe seama unei oarecare scăderi a amplificării. Aceşti factori pot fi deci modificaţi în concordanţă cu condiţiile de funcţionare ce trebuie realizate, reglînd în mod convenabil circuitele corespunzătoare.

MAGNAVOLTUL CU TREI ETAJE

În ce priveşte construcţia, magnavoltul cu trei etaje este identic cu magnavoltul cu două etaje, avînd în plus încă o pereche de portperii asociate cu partea de comandă, adică cu indusul bipolar, aşa cum se vede în schema din fig. 5-11. Aceste perechi de perii sînt aşezate la 90 grade electrice faţă de axa neutră, adică în axa magnetică a maşinii bipolare şi sînt conectate la bobinajul de excitaţie tetrapolar E_x şi la un bobinaj de excitaţie bipolar E_e, adaptat astfel încît să se opună şi să compenseze îndeajuns forţa magnetomotoare de pe această axă. Perechile de perii de pe axa neutră a sistemului cu doi poli sînt scurctcircuitate şi formează în felul acesta, împreună cu bobinajul indusului, al doilea etaj de amplificare. Este clar că în axa indusului bipolar curentul va fi foarte mic, deoarece fluxul necesar corespunde celui prevăzut pentru excitaţia de comandă a magnavoltului cu două etaje, adică celui necesar forţei magnetomotoare F_b din fig. 5-5. În consecinţă, comutaţia nu constituie o problemă.

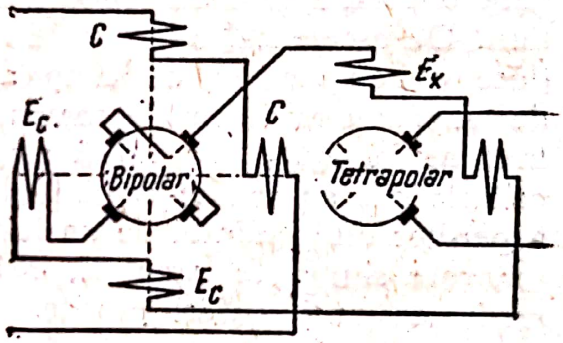


Fig. 5-11. Schema unui magnovolt cu trei etaje.

Adăugarea periilor scurtcircuitate şi a bobinajului de compensare pentru sistemul bipolar nu măreşte dimensiunile fizice ale maşinii, în comparaţie cu magnavoltul cu două etaje; se măreşte în schimb domeniul de utilizare, deoarece viteza de răspuns pentru o amplificare dată este cu mult mai mare, în special dacă maşina cu două etaje reclamă un bobinaj de reacţie pentru a se obţine amplificarea dorită.

Avantajul practic în ceea ce priveşte amplificarea este însă micşorat de valoarea magnetismului remanent şi, dacă trebuie să se obţină întreaga amplificare posibilă, este necesar să se utilizeze un oţel special cu forţă coercitivă foarte mică.

Scanned with OKEN Scanner

6. ÎNCERCAREA ȘI ÎNTREȚINEREA MAGNAVOLTULUI

E. A. BINNEY,

inginer șef, Traction Development Department, The English Electric Company Ltd.

Indiferent dacă magnavoltul este de tipul cu unul, cu două, sau cu trei etaje, periile trebuie așezate pe axa neutră magnetică, lucru care se face în același fel ca la o mașină de curent continuu obișnuită. Acest lucru este de dorit în primul rînd pentru a se asigura o comutație bună, fiindcă mașina este prevăzută cu poli auxiliari. De asemenea, orice deplasare în raport cu axa neutră ar introduce o componentă de cîmp a indusului, care ar compunda sau decompunda excitația de comandă, ceea ce, în primul caz, ar duce la apariția oscilațiilor, adică mașina ar deveni prea sensibilă, iar în celălalt caz ar reduce sensibilitate sub cea normală. Poziția corectă a periilor este indicată de un indicator asociat cu locașurile rulmenților, care sînt astfel aranjate, încît printr-o ușoară rotație să permită realizarea unei reglări precise.

Magnavoltul cu un singur etaj

Pentru a executa încercarea, magnavoltul este rotit la viteza nominală, cu ajutorul unui motor de antrenare, cu viteză sensibil constantă, de preferință cu un motor asincron. Bobinajul de excitație derivație este conectat în serie cu o rezistență de acordare reglabilă și pus în paralel cu indusul; rezistența se micșorează pînă cînd o nouă reducere ar face ca mașina să devină autoexcitată. Rezistența ar putea să fie puțin micșorată după ce bobinajul de excitație ajunge la temperatura normală de funcționare, însă în mod normal nu este necesară o reglare foarte precisă a acesteia, deoarece ar rezulta o sensibilitate excesivă și o viteză de răspuns redusă.

Mașina poate să aibă în mod normal una sau mai multe excitații de comandă. Dacă ea este prevăzută numai cu o singură excitație, încercarea se poate face conectînd periile de ieșire la sarcina

prevăzută și alimentînd separat excitația de comandă, ținînd seama că pentru a acoperi întregul domeniu de reglaj cerut, va fi nevoie numai de foarte puține amperspire. În fig. 6-1 *a* este reprezentată schema de montaj pentru realizarea acestei încercări.

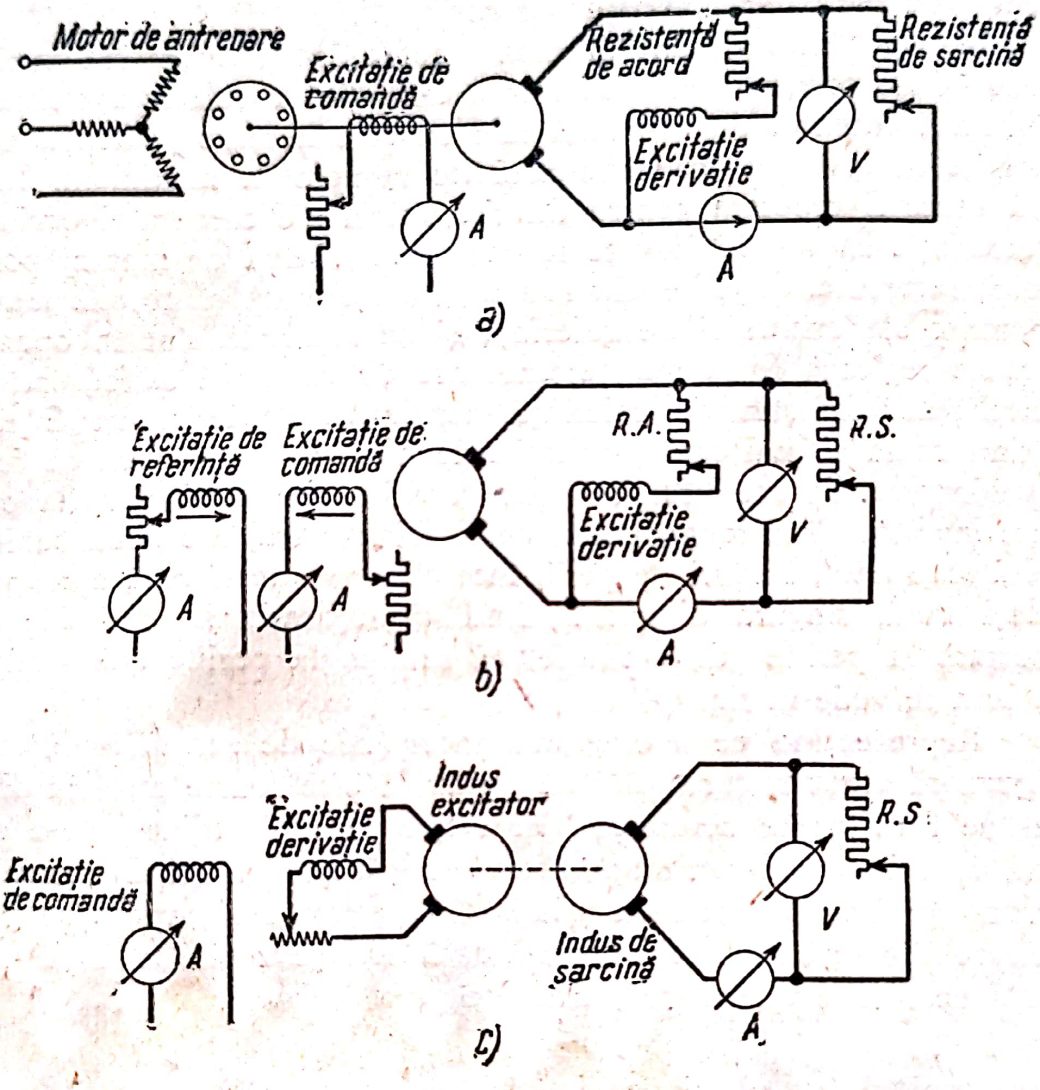


Fig. 6-1. Scheme de montaj pentru încercarea magnavoltului cu un singur etaj:

a — cu excitație de comandă simplă; *b* — cu excitație de referință; *c* — cu bobinaj de excitație independentă pe indus.

Sistemul de reglare la magnavolt cuprinde adesea o așa-numită excitație de referință destinată să fie alimentată separat și avînd la curentul maxim o forță magnetomotoare ce merge pînă la de o sută de ori cea necesară pentru obținerea domeniului complet de funcțio-

nare. Această excitaţie este conectată în opoziţie cu o a doua excitaţie, socotită excitaţie de comandă, care este alimentată de circuitul care este reglat de magnavolt. Un caz tipic de acest fel este acela în care excitaţia de comandă este conectată în paralel pe o rezistenţă prin care trece curentul ce trebuie reglat; într-o altă variantă, acest curent parcurge chiar bobinajul de comandă.

În cazul acesta, sensibilitatea este indicată, observînd variaţia curentului de comandă în raport cu o excitaţie de referinţă constantă. Se variază curentul de comandă atît cît este necesar pentru a varia tensiunea şi curentul magnavoltului de la zero la maximum. Încercarea poate fi repetată pentru diferite valori ale curentului excitaţiei de referinţă. În fig 6-1 *b* este reprezentată schema de montaj pentru această încercare. Săgeţile din axa magnetică arată că forţele magnetomotoare ale excitaţiei de referinţă şi de comandă sînt în opoziţie. Dacă se reglează forţa magnetomotoare de comandă astfel, încît să neutralizeze excitaţia de referinţă, tensiunea de ieşire va fi nulă. Mărind acum şi mai mult excitaţia de comandă, tensiunea de ieşire se va inversa. În acest fel, se poate verifica şi sensibilitatea la polaritate inversă. Cînd magnavoltul cu un singur etaj are două bobinaje pe indus şi două rînduri de perii, încercările se desfăşoară aproape în acelaşi mod, singura diferenţă fiind că excitaţia în derivaţie este conectată la periile „de excitaţie“ şi sarcina la periile „de sarcină“, aşa cum se vede în fig. 6-1 *c*.

Reprezentînd pe o diagramă încercările de sensibilitate, se va observa că variaţia curentului de comandă este foarte mică în domeniul de funcţionare nesaturat, dar creşte rapid imediat ce s-a atins cotul curbei de magnetizare. Acesta se găseşte în afara domeniului normal de funcţionare al maşinii. O asemenea situaţie s-ar putea produce din nebăgare de seamă, dacă magnavoltul ar fi lăsat să funcţioneze cu o viteză mai mică decît cea normală.

Magnavoltul cu două etaje

Maşina este antrenată la viteza nominală şi periile sistemului bipolar se conectează la excitaţia sistemului tetrapolar. De regulă excitaţiile de comandă sînt bobinaje bipolare, adică atunci cînd sînt excitate, ele influenţează direct tensiunea generată de indusul bipolar. Dacă excitaţia tetrapolară ar fi deconectată, indusul tetrapolar ar genera o tensiune datorită micii excitaţii reziduale tetrapolare, dar această tensiune n-ar fi modificată de excitaţia de comandă.

Scanned with OKEN Scanner

Bobinajele indusului bipolar pot avea tot atîtea amperspire ca şi indusul tetrapolar. Deci, dacă s-ar aduce excitaţia bipolară pînă la intensitatea nominală, tensiunea măsurată la bornele indusului bipolar ar fi de acelaşi ordin de mărime cu tensiunea maximă a bobinajului tetrapolar. Prin urmare, trebuie evitată forţarea excitaţiilor bipolare, care în mod normal cer cam 25—100 A · sp/pol, după mărimea maşinii şi după conexiunile utilizate. În caz contrar, bobinajul de excitaţie tetrapolar ar fi supraîncălzit şi s-ar putea deteriora.

În multe scheme maşinile pot să aibă o excitaţie de referinţă dimensionată în conformitate cu mărimea maşinii şi care să producă la excitaţia nominală 500—1 500 A · sp/pol, şi una sau mai multe excitaţii de comandă dimensionate cam pentru aceeaşi intensitate de cîmp, dar conectate astfel încît să se opună excitaţiei de referinţă. Cîmpul rezultant va produce atunci un flux magnetic suficient pentru a genera în indusul bipolar o tensiune de ordinul a numai 10 V, valoare care este suficientă pentru a excita complet inductorul tetrapolar.

Bornele excitaţiei tetrapolare sînt notate cu literele *Z-ZZ*, în timp ce bobinajele de excitaţie bipolare sînt marcate, de obicei după cum urmează:

X_1—X_2 — excitaţia de comandă principală;

X_3—X_4 — excitaţia de referinţă;

X_5—X_6, X_7—X_8, etc. — excitaţii de comandă auxiliare.

Dacă sînt conectate corect, excitaţiile X_1—X_2 şi X_3—X_4 trebuie să fie în opoziţie. Conectarea celorlalte excitaţii X_5—X_6 etc., depinde de funcţiunea ce li se atribuie; în mod normal, pentru verificarea sensibilităţii sau pentru reglajul maşinii, nu este nevoie de ele.

Încercarea efectivă în sarcină a maşinii se face cum s-a descris pentru maşina cu un singur etaj; schema de conexiuni pentru o maşină cu excitaţie de referinţă şi excitaţie de comandă, fiind dată în fig. 6-2. În schema din fig. 6-2 indusul tetrapolar este în serie cu o rezistenţă de sarcină şi o sursă de alimentare de curent continuu, magnavoltul survoltînd şi devoltînd tensiunea de alimentare. Acest montaj este utilizat în mod obişnuit, rezistenţa de sarcină luînd adesea forma bobinajului de excitaţie al unui generator sau al unui motor.

Excitaţia de referinţă *Z-ZZ* este alimentată cu un curent constant de un sens determinat, iar excitaţia de comandă este adusă la o valoare care compensează exact excitaţia de referinţă. Curentul care trece prin circuit este atunci sensibil egal cu tensiunea liniei împărţită

prin rezistenţa de sarcină. Variind curentul de comandă peste şi sub această valoare iniţială, se obţin cele două extreme, de survoltare şi de devoltare ale tensiunii liniei, în care timp curentul din circuitul

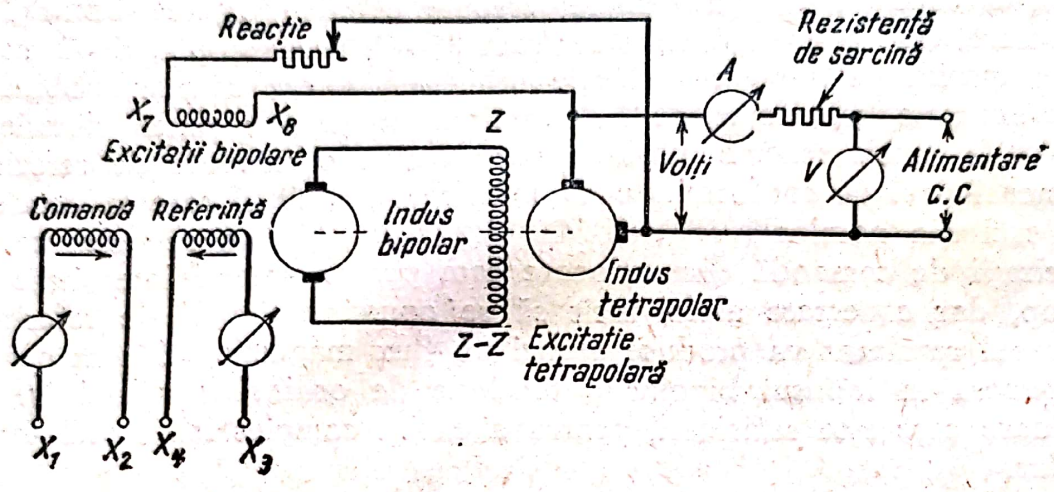


Fig. 6-2. Schemă de montaj pentru încercarea magnavoltului cu două etaje (cu circuit de reacţie).

de sarcină va varia de la o valoare maximă la o valoare minimă. Variaţia curentului de comandă faţă de o valoare medie peste domeniul corespunzător sistemului tetrapolar, va indica căderea de tensiune în sarcină. De obicei, acesta este o cantitate cunoscută. Valoarea efectivă a curentului de comandă poate fi variată, modificînd valoarea curentului din excitaţia de referinţă.

Căderea de tensiune este micşorată în unele cazuri, utilizînd o excitaţie de reacţie, cum este X_7—X_8 în fig. 6-2. În mod obişnuit, este necesară o rezistenţă de reglare pentru a permite corijarea gradului de reacţie. Orice micşorare a căderii de tensiune va fi în dauna vitezei de răspuns a maşinii la o variaţie a curentului de comandă. Dacă se inversează excitaţia de reacţie în raport cu excitaţia de referinţă, reglajul va fi mai rău decît în lipsa reacţiei. Se va avea deci grijă ca reacţia să fie conectată corect.

Viteza inerentă de răspuns poate fi ameliorată în dauna sensibilităţii, introducînd o rezistenţă în circuitul indusului bipolar, adică în serie cu excitaţia Z-ZZ. Întrucît curentul şi tensiunea din acest circuit sînt mici, este necesară o rezistenţă cu puterea de disipaţie mică. Un reostat de 10 Ω , 3 A este foarte potrivit acestui scop.

Magnavoltul cu trei etaje

Această mașină are două perechi de perii pe colectorul indusului bipolar. O pereche este, în mod normal, scurtcircuitată, iar cealaltă este conectată în serie cu excitația de compensare bipolară X_5—X_8 cu excitația auxiliară tetrapolară I_1—I_2 și, în sfîrșit, cu excitația tetrapolară Z-ZZ.

Bobinajul de compensare X_5—X_8 neutralizează reacția indusului datorită curentului ce trece prin acest circuit. Periile scurtcircuitate sînt parcurse de un curent de același ordin de mărime cu curentul furnizat de periile de sarcină bipolare, excitației Z-ZZ. Forța magnetomotoare a axei scurtcircuitate este necesară pentru a obține fluxul care generează tensiunea pentru excitația Z-ZZ. Prin urmare, ea este de același ordin de mărime cu forța magnetomo-

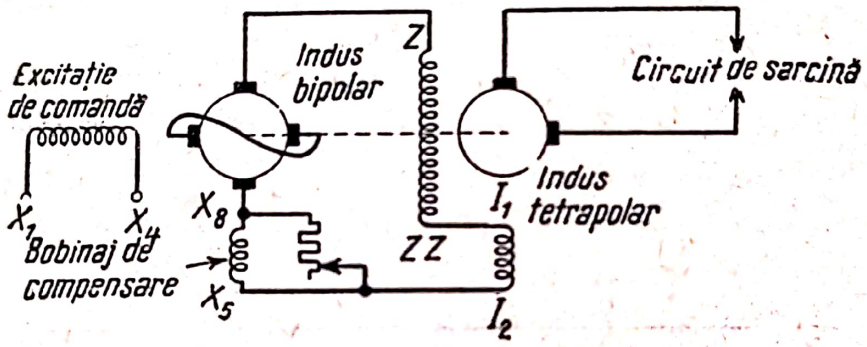


Fig. 6-3. Schemă de montaj pentru încercarea magnavoltului cu trei etaje.

toare produsă de excitația rezultantă bipolară a magnavoltului cu două etaje, descris mai înainte (de la 25 la 100 A · sp). Este deci evident că în această mașină, forța magnetomotoare a excitației de comandă va fi mult mai mică, deoarece o primă amplificare se și produce între excitația de comandă X_1—X_4 și periile scurtcircuitate. Rezultatul este că forța magnetomotoare inițială va fi foarte mică. Cînd se execută încercarea de reglaj, acest lucru trebuie avut în vedere.

Avantajul cel mai important al sistemului cu trei etaje față de cel cu două etaje, nu constă neapărat într-o creștere a sensibilității. Se preferă să se beneficieze de viteza mai mare de răspuns ce se

poate obţine pentru o *sensibilitate dată*. Acest lucru poate fi realizat, reducînd compensarea datorită lui X_5—X_8 prin şuntarea acestei excitaţii cu ajutorul unei rezistenţe. În fig. 6-3 este reprezentată schema de montaj pentru încercarea sensibilităţii unui magnavolt cu trei etaje.

Întreţinerea

Magnavoltul pretinde aceeaşi atenţie ca şi orice maşină mică de curent continuu obişnuită. Cerinţele pentru colector şi natura periei sînt similare cu cele pentru maşinile de curent continuu obişnuite bine dimensionate şi o dată ce a fost stabilită starea de funcţionare electrică corectă pentru fiecare gen de utilizare, nu este necesară o îngrijire specială.

Scanned with OKEN Scanner

7. PRINCIPIILE SISTEMELOR DE REGLARE AUTOMATĂ

A. L. WHITELEY, D. Sc., M.I.E.E.,
Electronics Engineering Department, The British Thomson—Houston Co. Ltd.)*

SISTEME DE REGLARE AUTOMATĂ

Acest capitol se referă la o anumită clasă de sistem de reglare automată şi corespunde descrierii utilizărilor moderne ale amplificatoarelor rotative, de care se ocupă capitolul 8.

Reglare automată

În textul de faţă termenul de „reglare automată" se referă la tipul de sistem în care se realizează comanda şi controlul precis al unei mărimi de ieşire cu ajutorul reacţiei. Sistemului trebuie să i se furnizeze date referitoare la valoarea prescrisă a mărimii de ieşire; această valoare se compară cu valoarea reală a mărimii de ieşire şi dacă există vreo diferenţă, sistemul produce o acţiune corectoare cu scopul de a reduce această diferenţă.

Mărimile de ieşire sînt transmise, cu ajutorul reacţiei, la intrarea sistemului de reglare, sistemul fiind în acest caz cu circuit închis, ceea ce dă ansamblului aparatelor proprietăţi speciale; reacţia poate da însă naştere şi unor fenomene cu totul nedorite în cazul cînd sistemul considerat nu este proiectat şi reglat corect.

Tratarea reglajului automat, sau a sistemelor cu circuit închis în forma în care este expusă în cele ce urmează se bazează pe tipul de generator amplidină sau metadină; ea este însă destul de generală pentru a corespunde la multe sisteme ce folosesc reglarea electrică.

---

*) Departamentul de Tehnică Electronică, Compania Engleză Thomson—Houston *(N. red. E. T.)*.

Generatorul amplidină fără reacție

Să considerăm întîi un generator amplidină utilizat simplu ca o sursă de curent continuu, fără a avea circuite de reacție. Tensiunea de ieșire la bornele sale de sarcină poate fi reglată reglînd tensiunea aplicată excitației de comandă; tensiunea de ieșire va varia însă, în funcție de viteza mașinii, de sarcină, de efectele datorite temperaturii etc. Dacă tensiunea de ieșire ar trebui menținută constantă, de exemplu, cu o abatere de cel mult $\pm$ 0,5%, ar fi necesare reglări dese ale reostatului excitației de comandă. Acesta ar fi un exemplu de sistem de reglare „în circuit deschis". Trebuie remarcat, în treacăt, că generatorul cu cîmp transversal n-ar prezenta nici un avantaj într-un asemenea caz; în plus, din punct de vedere al costului și greutății, un generator de curent continuu obișnuit ar fi, în general, preferabil.

Amplidina ca element de reglare în circuit închis

În fig. 7-1 se arată cum se poate conecta o amplidină, sau un generator asemănător, ca un element de reglare în circuit închis, pentru a da un reglaj precis al tensiunii de sarcină. (Conform capitolelor anterioare, generatorul cu cîmp transversal este reprezentat ca un generator de curent continuu obișnuit și o excitatoare). Tensiunea de ieșire e_L este trimisă spre intrare și comparată cu tensiunea u_e, a cărei valoare este fixată de poziția reostatului potențiometric.

Evident că e_L trebuie să se opună lui u_e, așa încît dacă tensiunea generatorului este, de pildă, prea mare, tensiunea utilă aplicată excitației de comandă să se reducă cu excesul valorii lui e_L. Diferența de tensiune $u_e - e_L$ este tensiunea de abatere u_a și produce exact excitația de comandă necesară pentru a avea tensiunea e_L a mașinii. Neglijînd deocamdată efectele de întîrziere (discutate mai înainte în capitolul 1) și considerînd numai partea liniară a caracteristicii de magnetizare a generatorului, cu o bună aproximație putem scrie:

$$e_L = K_u \cdot u_a \text{ și } u_a = u_e - e_L$$

deci:

$$e_L = \frac{K_u}{1 + K_u} u_e \cdot \qquad (1)$$

O însușire specială a generatorului cu cîmp transversal este faptul că mărimea K_u poate fi foarte mare. Se poate atinge cu ușurință valoarea 100. Prin urmare, e_L poate urmări de aproape pe u_c,

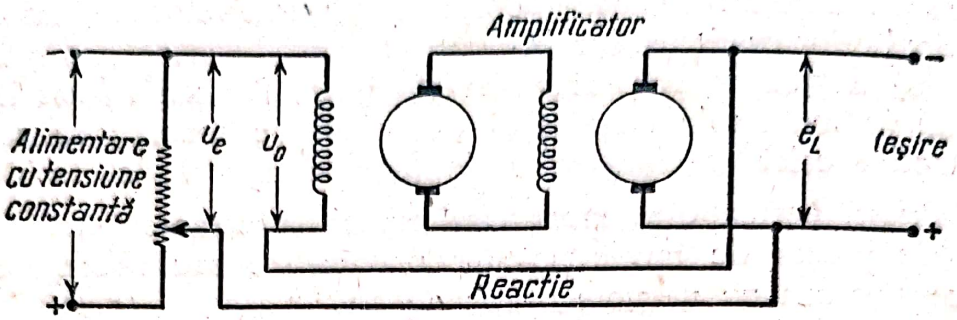


Fig. 7-1. Amplificatorul rotativ conectat ca un element de reglaj în circuit închis.

chiar dacă valoarea reală a lui K_u poate varia cu temperatura, viteza etc.

Expresia (1) poate fi privită ca forma cea mai elementară a ecuației circuitului închis fundamental sau al ecuației de reacție.

Se poate înțelege cu ușurință că se pot regla în mod analog și alte mărimi de ieșire, în afară de tensiune. De exemplu, un generator de tip amplidină, ca cel reprezentat în fig. 7-1, poate fi făcut să alimenteze un motor de curent continuu, iar informații asupra vitezei motorului să fie furnizate de un mic generator tahometric de curent continuu, producînd în felul acesta o tensiune de reacție. Astfel, montajul acesta ar deveni un sistem de reglare cu circuit închis, dînd un reglaj precis al vitezei motorului. De asemenea, există dispozitive indicatoare de poziție așa încît este posibilă o reacție legată de poziție, obținînd prin aceasta un sistem de reglare a poziției.

Terminologie

Este indicat să se menționeze aici pe scurt terminologie utilizată în domeniul reglajului automat. Din păcate, această terminologie este lipsită de stabilitate; termenii folosiți în cele ce urmează au însă următoarele semnificații:

(1) *Sistem de reglare cu circuit închis.* Termen generic care se referă la toate tipurile de sisteme de reglare.

(2) *Sistem de reglare cu reacție.* Termen generic care se referă la toate tipurile de sisteme de reglare.

(3) *Servomecanism* (sau *servosistem).* Aplicat în general regulatoarelor de poziţie dar folosit şi ca termen generic.

(4) *Regulator automat,* de exemplu regulator automat de tensiune. Aplicat în mod obişnuit dispozitivelor industriale de tipul celor cu circuit închis.

(5) *Regulator de proces de fabricaţie.* Termen folosit în general în industriile chimice şi de fabricaţie conexă; se aplică în mod special regulatoarelor de temperatură şi de debit.

Acest termen este menţionat numai în treacăt; multe regulatoare de proces de fabricaţie sînt pneumatice sau hidraulice şi în cele ce urmează nu ne vom ocupa de ele.

Termenul general cel mai potrivit este o abreviere a termenului (3) adică „servo" care va fi folosit în cele ce urmează, în mod frecvent*).

(6) *Mărime de ieşire* (e_L în exemplul precedent); mărimea fizică reglată de servosistem.

(7) *Mărime de intrare* (u_e în exemplul precedent); informaţia sau semnalul furnizat sistemului pentru a determina valoarea la care trebuie reglată mărimea de ieşire.

(8) *Abatere* ($u_e - e_L$ în exemplul precedent); diferenţa dintre mărimea de ieşire şi mărimea de intrare. Trebuie avut în vedere că „abaterea" nu presupune o defectare a sistemului, ci este o mărime necesară funcţionării.

(9) *Reacţie.* Se referă la „ultimul" semnal în succesiunea sistemului de reglare, care este adus spre un punct în apropierea extremităţii de intrare a sistemului, pentru a modifica semnalul total în acel punct. În general, reacţia implică o furnizare ireversibilă de informaţii. Semnalul de reacţie poate fi aplicat fără modificare, sau în calea de reacţie poate fi înseriat un traductor suplimentar.

(10) *Reglare continuă.* Sistemul cu amplidină de mai sus este un exemplu de sistem de reglare continuu, adică, acţiunea de reglare este o funcţie continuă în raport cu abaterea. Un exemplu de comandă discontinuă ar fi un dispozitiv regulator care ar funcţiona prin „închidere şi deschidere" (cu contacte). Calitatea de continuitate a reglajului la maşina cu cîmp transversal

*) Acest termen este utilizat frecvent în lucrarea originală în limba engleză. In traducerea de faţă se va utiliza termenul „sistem de reglare" (*N. red. E. T.*).

este avantajoasă în special la sistemele de reglare de putere mare și de mare precizie; toate sistemele ce vor fi analizate în cele ce urmează sînt de tipul reglării continue.

(11) *Întîrziere.* Termenul acesta va fi utilizat pentru a defini întîrzierea exponențială ce are loc, de exemplu, în generatorul cu cîmp transversal, între momentul aplicării tensiunii pe excitația de comandă și variația exponențială a tensiunii generate la ieșire. Această semnificație nu este acceptată în mod universal; termenul „întîrziere" este uneori folosit pentru a indica timpul „mort" sau timpul scurs între un semnal și răspunsul la acest semnal. În sistemele ce folosesc tipul de generator de care este vorba aici, o întîrziere finită de felul acesta se întîlnește rar și deci confuzia nu este posibilă.

(12) *Oscilații (pendulări).* Oscilații nedorite ale mărimii de ieșire provocate de însăși acțiunea sistemului de reglare. De obicei acestea sînt oscilații întreținute sau oscilații amortizate în mod necorespunzător.

(13) *Stabilitate.* Se referă la un sistem care nu oscilează. În general un sistem de reglare sau un regulator automat industrial trebuie să aibă o asemenea stabilitate, încît după o perturbație, revenirea sa să fie aperiodică, sau chiar dacă este oscilatorie, oscilațiile să fie abia perceptibile.

Din totalitatea termenilor utilizați în acest domeniu, am prezentat aici doar un număr mic, care este însă suficient pentru a înțelege sistemele de reglare.

ELEMENTE PRINCIPALE ALE SISTEMELOR DE REGLARE

Într-un sistem de reglare cu circuit închis se deosebesc în general trei funcțiuni principale, cărora le corespund trei elemente primare.

(1) Elemente de măsurare

Este evident că în sistemele electrice este indispensabilă o măsură electrică a abaterii, cel mai frecvent, o tensiune. Cum însă de multe ori avem de-a face cu un reglaj de poziție, viteză, temperatură etc., trebuie prevăzute mijloace prin care mărimile reglate de la ieșire și intrare să fie traduse în mărimi electrice corespunzătoare.

Scanned with OKEN Scanner

Un aspect important al acestei ramuri tehnice este o aparatură de precizie, deoarece precizia totală a reglajului nu poate fi superioară preciziei dispozitivelor de măsurare, care condiționează semnalul abaterii. De exemplu, într-un sistem electric reglînd o viteză, viteza arborelui este măsurată cu un generator tahometric, care furnizează prin urmare tensiunea de reacție; este clar că dacă această tensiune nu este o măsură precisă a vitezei arborelui, nu este posibil un reglaj precis, chiar dacă restul sistemului poate controla foarte precis tensiunea la bornele generatorului tahometric.

(2) Elemente amplificatoare

S-a arătat mai sus că o calitate esențială pe care trebuie să o aibă sistemul este o valoare mare a amplificării; mai mult, dacă se cer elementelor de măsurare electrice indicații precise, ele trebuie solicitate foarte puțin. Din punct de vedere practic este adeseori convenabil și economic, ca dispozitivele de măsurare utilizate în reglarea unui proces de fabricație, să fie de dimensiuni reduse și de putere nominală mică, în comparație cu puterea dezvoltată la ieșire. De aceea se impune o amplificare în putere mare. Se va vedea mai tîrziu că amplificarea în putere este de asemenea foarte utilă în legătură cu achiziționarea practică a dispozitivelor de stabilizare.

(3) Elemente de ieșire

Vom prezenta elementul de ieșire printr-un exemplu; într-un sistem de reglare electrică a poziției, servomotorul (alimentat de exemplu de un generator cu cîmp transversal) care acționează axul comandat de la distanță este elementul de ieșire. Se va vedea că în sistemele ce folosesc mașini de genul amplidinei sau metadinei, elementul de ieșire este în general o mașină electrică rotativă.

TEORIA ELEMENTARĂ A SISTEMELOR DE REGLARE CU CIRCUIT ÎNCHIS

Teoria sistemelor de reglare cu circuit închis poate fi alcătuită pe baza noțiunilor generale de teorie a circuitelor, fără a da un nume și fără a preciza diferitele părți ale sistemului, sau a ține seamă de scopul final.

Teoria aplicabilă maşinilor amplificatoare

Întrucît aici se examinează o clasă specială de generatoare, procedeul de mai sus va fi evitat.

Se poate alcătui o teorie cu totul generală, ţinînd seamă de diferitele întrebuinţări specifice ale maşinilor cu cîmp transversal. Concluziile trase sînt suficient de generale cel puţin în următoarele ipoteze:

a) toate părţile sistemelor considerate conţin un reglaj continuu;

b) sistemele sînt liniare, adică se reprezintă prin relaţii liniare, necuprinzînd produse de semnale, nici puteri mai mari decît puterea întîi; funcţionarea sistemeleor este deci definită prin ecuaţii diferenţiale liniare.

Ambele ipoteze sînt adevărate pentru majoritatea sistemelor ce folosesc generatoare cu cîmp transversal. În ce priveşte ipoteza *a*, mărimile de ieşire ale generatorului sînt funcţiuni continui în raport cu excitaţia sa de comandă şi este bine ca această caracteristică, în general dorită, a continuităţii reglajului să fie menţinută pentru tot restul aparatajului. Observaţii mai multe în ceea ce priveşte utilitatea unui reglaj continuu sînt date în capitolul următor referitor la aplicaţii. Ipoteza *b* pare a fi valabilă pe o parte din domeniul de funcţionare a acestui tip de sistem, dar saturaţia din circuitul magnetic este clar că pune oarecare limită oricărei teorii bazate pe liniaritate. Sistemul poate fi însă făcut să funcţioneze satisfăcător în porţiunea sa liniară; abaterile de neliniaritate şi unele consecinţe practice vor fi discutate pe scurt, mai departe.

Analiza simplificată din paginile următoare va prezenta trei probleme esenţiale ale reglajului în circuit închis şi anume:

(1) Proprietăţile în ceea ce priveşte reglajul precis şi viteza de răspuns. Va fi necesar să se examineze răspunsul atît la perturbaţiile de la intrare cît şi, mai pe scurt, la perturbaţiile de la ieşire.

(2) Tendinţele pronunţate spre oscilaţie; se va vedea că acestea pot fi atribuite amplificării totale a sistemului, prezenţei întîrzierilor exponenţiale şi modului de reglaj folosit.

(3) Metodele de stabilizare, în special adăugarea de circuite de reacţie, pentru eliminarea oscilaţiilor.

Metoda analitică

Pentru studierea funcţionării sistemelor cu circuit închis, se utilizează metode analitice şi grafice [B, 2, 3, 4]. În cele ce urmează

Scanned with OKEN Scanner

se va folosi o metodă analitică bazată pe procedeele algebrice simple ale calculului operațional. Am ales această cale deoarece ea constituie un pas preliminar util către metode grafice, care sînt descrise în deta-

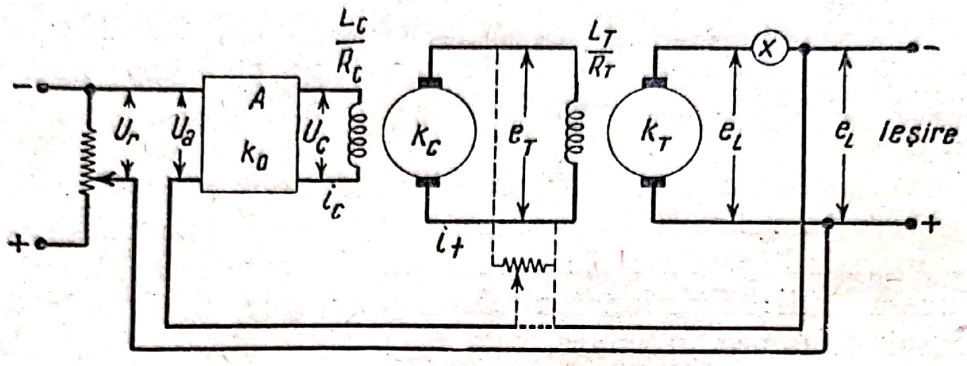


Fig. 7-2. Preamplificator şi amplificator rotativ într-o schemă de reglare automată a tensiunii.

liu, în alte lucrări.*) Se va analiza acum mai detaliat un montaj general cum este cel din fig. 7-1; trebuie notat că montajul schematic al maşinilor din această figură este aplicabil majorității generatoarelor rotative amplificatoare, ca generatoarele metadină, amplidină, magnicon şi magnavolt. În fig. 7-2, A reprezintă o formă oarecare de dispozitiv amplificator, presupus liniar şi avînd un factor de amplificare în tensiune k_{l0}. Să presupunem că o perturbație oarecare sau o tensiune accidentală notată cu x, apare în circuit în punctul indicat pe figură, în serie cu tensiunea de ieşire e_L a generatorului cu cîmp transversal. Tensiunea x poate fi produsă de căderea datorită trecerii curentului prin rezistența de sarcină din circuitul principal al indusului generatorului sau ar putea fi un efect întîmplător produs de variațiile de temperatură ori de o altă cauză asemănătoare. Neglijînd deocamdată circuitul desenat punctat, ecuațiile ce le vom scrie descriu funcționarea în porțiunea liniară a sistemului şi la o viteză constantă a maşinii.

Ecuația generală de reglaj este:

$$u_a = u_r - e_L \qquad (2)$$

*) Autorul este de părere că acest domeniu oferă posibilitatea introducerii în metodele calculului operațional, fie că acesta este bazat pe procedeul Cauchy-Heaviside, fie pe transformarea Laplace. Înțelegerea teoriei matematice care-i stă la bază poate fi abordată mai tîrziu, după ce a fost recunoscută marea utilitate a acestui instrument matematic.

unde u_a este tensiunea de abatere, iar u_r și e_L — tensiunea de referință, respectiv cea de ieșire.

Tensiunea excitației de comandă u_c a generatorului este dată de relația:

$$u_c = k_0 u_a \tag{3}$$

Tensiunea de comandă este aplicată bobinajului având rezistența R_c și inductanța L_c.

Prin urmare:

$$u_c = i_c R_c + L_c \frac{di_c}{dt} \cdot \tag{4}$$

Vom nota pe $\frac{d}{dt}$ cu operatorul p și astfel [B. 5, 6] :

$$u_c = (R_c + pL_c)\, i_c \cdot \tag{5}$$

Forța electromotoare generată în circuitul transversal este dată de relația:

$$e_T = k_c i_c = \tag{6}$$

$$= (R_T + pL_T)\, i_T \tag{7}$$

R_T și L_T fiind rezistența și inductanța după axa transversală a indusului.

În ipotezele făcute, forța electromotoare generată pe axa principală este dată de relația:

$$e_L = k_T i_T \tag{8}$$

În consecință, din relațiile (4) $\div$ (8), se obține:

$$e_L = \frac{k_c k_T}{(R_T + pL_T)\ (R_c + pL_c)}\, u_c \cdot \tag{9}$$

Este mai bine ca relația de mai sus să fie exprimată în funcție de constantele de timp ale mașinii, așa cum s-a făcut la descrierea anterioară a generatorului cu cîmp transversal; notăm:

$T_c = \frac{L_c}{R_c}$ — constanta de timp a excitației de comandă;

$T_T = \frac{L_T}{R_T}$ — constanta de timp a circuitului transversal.

Deci:

$$e_L = \frac{K_u}{(1+pT_c)(1+pT_T)} u_c, \tag{9a}$$

în care:

$K_u = \frac{k_c k_T}{R_c R_T}$ este factorul de amplificare în tensiune al maşinii.

Ţinînd seamă de prezenţa tensiunii accidentale notate cu x, vom avea:

$$e'_L = e_L + x. \tag{10}$$

Din relaţiile (2), (3), (9a) şi (10) rezultă:

$$e'_L = \frac{K_u k_0 u_r + x\,(1+pT_c)(1+pT_T)}{(1+pT_c)(1+pT_T) + K_u k_0}. \tag{11}$$

Această relaţie poate fi transformată într-o funcţiune de timp, prin diferite metode bine cunoscute, sau pur şi simplu căutînd în tabelele de corespondenţă între funcţiile $f(p)$ şi $f(t)$, [B. 5, 7].

Vom examina mai întîi regimul permanent ce urmează unei schimbări bruşte a lui u_r şi a lui x sau numai a lui x. Dacă după o perturbaţie, se ajunge la un regim permanent, atunci $\frac{de_L}{dt}$, $\frac{du_r}{dt}$ etc. şi orice alte derivate de ordin mai înalt devin nule, deci $p = \frac{d}{dt}$ devine nul.

Prin urmare, notînd valorile în regim permanent cu U_r, E'_L şi X, şi făcînd $p=0$ în ecuaţia (11), relaţia dintre mărimile de ieşire şi cele de intrare, în regim permanent devine:

$$E'_L = \frac{K_u k_0 U_r}{1+K_u k_0} + \frac{X}{1+K_u k_0}; \tag{12}$$

sau, deoarece factorul de amplificare total $K_u k_0$ poate fi presupus mare în raport cu unitatea:

$$E'_L = U_r + \frac{X}{K_u k_0}, \tag{13}$$

adică termenul datorat perturbaţiei poate fi făcut neglijabil de mic, cu condiţia ca să se realizeze o valoare mare a amplificării totale.

Considerații practice

Este important să menționăm următoarele cîteva considerații practice:

a) Un factor determinat de amplificarea totală a sistemului va suprima numai o perturbație ivită la extremitatea de ieșire și în interiorul circuitului principal al sistemului de reglare. Însă perturbațiile de la ieșire sînt în general cele mai serioase fiind produse de sarcina externă conectată la ieșirea sistemului; în plus, ieșirea este extremitatea de putere mare și considerații de ordin economic impun limite în ceea ce poate fi făcut ca protecție contra efectelor nedorite sau străine.

b) O perturbație întîmplătoare la intrare poate deforma total întreaga funcționare; de pildă, dacă tensiunea de abatere u_z ar fi folosită pentru a alimenta circuitul de grilă al unui amplificator electronic și u_a ar fi o tensiune continuă, o variație în circuitul grilei primului tub electronic al amplificatorului ar contribui la imprecizia reglajului lui e'_L. De aceea, trebuie adoptate metode de amplificare corespunzătoare pentru a evita acest fel de variație; de obicei, se dispune de mijloace practice datorită puterii mici existente la intrarea sistemului.

c) să presupunem că, factorul de amplificare k_0 este egal cu unitatea; aceasta înseamnă că singura amplificare este cea datorată generatorului însuși. Ecuația (13) arată că reacția asociată generatorului este avantajoasă pentru menținerea tensiunii de ieșire aproape de valoarea dorită. Această conexiune de reacție negativă simplă este folosită adesea la mașina cu cîmp transversal pentru a da o liniaritate mai mare și pentru a minimaliza efectele saturației fierului, ale fenomenului de histerezis etc.

Răspunsul tranzitoriu

Această conexiune a reacției este folosită și în mașinile amplidină și metadină pentru a îmbunătăți răspunsul tranzitoriu; în cele ce urmează se vor discuta unele probleme în legătură cu aceasta. Această tratare va servi și ca introducere la o teorie mai generalizată a reacției.

Din ecuația (13) s-a văzut că efectul unei forțe electromotoare nedorite X poate fi mult redus; de aceea, pentru simplificare ea va fi

neglijată. Prin urmare, trebuie găsită soluția ca funcție de timp a relației următoare:

$$e_L = \frac{\frac{K_u k_0}{T_c T_T}}{p^2 + p\left(\frac{1}{T_c} + \frac{1}{T_T}\right) + \frac{1}{T_c T_T}(1 + K_u k_0)} u_r \cdot \qquad (11a)$$

Pentru a încerca comportarea sistemului, se recomandă provocarea unei variații bruște a valorii tensiunii de referință u_r. Se va produce un salt unitar al lui u_r; aceasta înseamnă în termenii calculului operațional că valoarea arbitrară (de pînă acum) a lui u_r, devine $u_r\mathbf{1}$. Fig. 7-3 *a* reprezintă funcțiunea salt unitar **1** care este zero pentru $t<0$ și egală cu unitatea pentru $t>0$. Menționăm că se presupune că la $t=0$, sistemul este în echilibru; de asemenea menționăm că u_r este schimbarea nivelului reglajului și nu valoarea reală a poziției tensiunii pe reostat în momentul inițial.

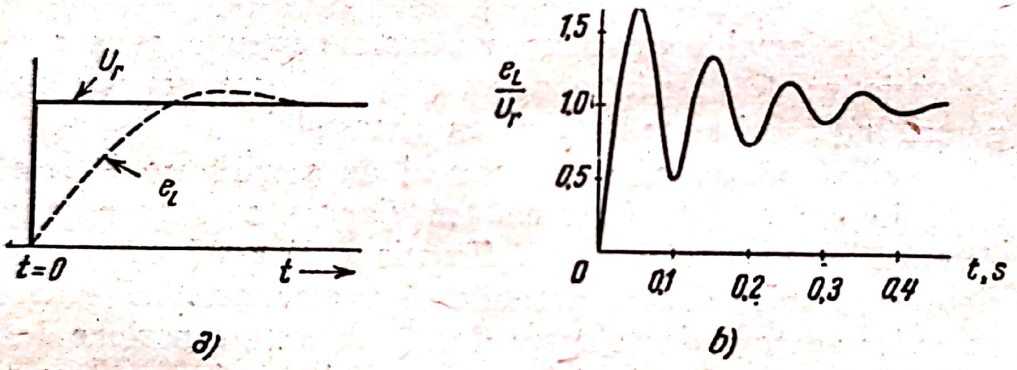


Fig. 7-3. *a* — perturbație la intrare sub forma unui salt unitar al tensiunii u_r și răspuns tipic amortizat al tensiunii de ieșire e_L: *b* — răspunsul sistemului citat în text ecuația (15).

Dacă se notează cu $Z(p)$ numitorul membrului din dreapta al ecuației (11 a), atunci rădăcinile lui $Z(p)=0$, determină natura răspunsului. Dacă $Z(p)$ este o funcție de un grad mai înalt al lui p (gradul șase sau mai mare se întîlnește frecvent în acest domeniu), găsirea rădăcinilor este o problemă foarte dificilă.

Ecuația (11a) este o ecuație simplă de gradul doi (ecuație diferențială de ordinul al doilea) și deci valoarea lui e_L în funcție de timp poate fi găsită cu multă ușurință, de exemplu folosind teorema

dezvoltării din calculul operațional, sau căutînd în tabelele de corespondență [B. 5, 6, 7].

Scriind:

$$\frac{1}{T_c} + \frac{1}{T_T} = 2\alpha; \quad K_u k_0 = A;$$

$$\omega_0^2 = \frac{1}{T_c T_T}(1 + A); \quad \omega^2 = \omega_0^2 - \alpha^2$$

și

$$\operatorname{tg} B = \frac{\omega}{\alpha},$$

atunci

$$e_L(t) = \frac{A}{1+A}\left[1 - \frac{\omega_0}{\omega}\varepsilon^{-\alpha t}\sin(\omega t + B)\right] u_r, \qquad (14)$$

unde, în cazul acesta, u_r este valoarea saltului brusc al tensiunii de reglaj u_r, la timpul $t=0$.

Considerînd parametrii reali ce intervin într-un caz practic de exemplu, la un generator amplidină sau metadină de 10 kW și 1 500 rot/min, constantele de timp au următoarele valori:

$$T_c = 0{,}25 \text{ s}; \qquad T_T = 0{,}1 \text{ s}.$$

Valoarea amplificării totale A, se alege astfel, încît să corespundă preciziei în regim permanent, dacă se cere ca montajul din fig. 7-2 să funcționeze ca o sursă de tensiune reglată. Dacă este nevoie, de exemplu, de o precizie de 1%, este evident că acest caz s-ar rezolva pentru o valoare $A=100$.

Astfel:

$$e_L(t) \approx \frac{100}{101}\left\{1 - \varepsilon^{-7t}\cos 63\, t\right\}. \qquad (15)$$

După cum se vede din caracteristica din fig. 7-3 *b*, sistemul este foarte oscilant. Deși sistemul este stabil, în sensul că după o perturbație oscilațiile se amortizează, el este însă lipsit de gradul de amortizare satisfăcător, cerut în mod normal. Se mai observă apoi că prima „depășire" trece mult peste valoarea prescrisă. Se vede, totuși că restabilirea este cu mult mai rapidă decît ar fi de așteptat de la generatorul fără reacție; după cum s-a arătat în capitolul 1,

constanta de timp echivalentă a mașinii întregi este suma a două constante de timp T_c și T_T (0,35 s), în timp ce viteza de restabilire dedusă din relația (15) corespunde aproximativ la 1/7 s.

Procedeul din paragrafele precedente a servit doar ca un pas introductiv; evident că este foarte neplăcut să se folosească numai calculul aritmetic laborios pentru a afla că unii parametrii trebuie schimbați în vederea realizării unei caracteristici de reglare acceptabile.

Scopul principal al multor lucrări teoretice de analiză și sinteză a sistemelor de reglare a fost să găsească metode prin care să fie dimensionate circuite stabilizatoare suplimentare, pentru sistemele de felul celor din fig. 7-2; exemplul de mai sus fiind unul din cele mai simple cazuri ce se pot ivi, rezultă clar că trebuie evitate calcule lungi bazate pe încercări.

Restabilirea indicată de ecuația (15) este nesatisfăcătoare, deoarece componența oscilatorie are o frecvență de circa 10 Hz, care este mare în comparație cu α, coeficientul decrementului logaritmic (1/7 s). Absența oscilației ar fi asigurată dacă rădăcinile ar fi reale, în care caz ar lipsi termenul oscilator. Într-o expresie pătratică: $Z(p)=ap^2+bp+c=0$, condiția limită ca rădăcinile să fie reale este dată de relația:

$$b^2=4\,ac.$$

Prin urmare, restabilirea va fi aperiodică critică dacă în (11a):

$$\left(\frac{1}{T_c}+\frac{1}{T_T}\right)^2=\frac{4}{T_cT_T}(1+K_uk_0)\cdot$$

Dacă ν este raportul dintre constantele de timp:

$$\nu=\frac{T_c}{T_T}\quad\text{și}\quad\nu>1,$$

atunci se poate arăta imediat că:

$$\nu+\frac{1}{\nu}+2=4K_uk_0$$

sau aproximativ:

$$K_uk_0=\frac{\nu}{4}\cdot$$

Prin urmare, cu calea de reacție simplă, amplificarea totală permisă este limitată de raportul dintre cele două constante de timp

din interiorul circuitului sistemului de reglare. În practică, este recomandabil să se utilizeze o amplificare mai mare decît cea indicată mai sus; ar fi însă neindicat să se aleagă o valoare mult mai mare decît ν.

După cum s-a menționat mai înainte, adesea se conectează în jurul mașinii de tip amplidină, un circuit de reacție negativă ca să se obțină o caracteristică mai liniară la ieșire și pentru a reduce la minimum efectele saturației, ale fenomenului de histerezis etc. Este evident că, deși astfel de ameliorări sînt realizabile, există o limită pentru amplificarea totală în acest circuit, dacă trebuie să se evite tendințele oscilatorii.

Revenind la problema mai generală, s-a arătat în felul acesta că precizia reglării mărimii de ieșire pretinde o amplificare mult mai mare în sistem decît o permite un circuit simplu de reacție, din cauza tendinței sistemului de a intra în autooscilație. Dacă montajul din fig. 7-2 ar avea trei întîrzieri exponențiale, oscilațiile cu amplitudine crescătoare ar fi și mai probabile.

Întîrzierile exponențiale care există în generatorul cu cîmp transversal nu sînt cauza unică a instalabilității din sistemul cu circuit închis și înainte de a analiza mijloacele prin care poate fi împiedicată apariția oscilațiilor, trebuie examinată o altă sursă fundamentală de instabilitate.

Caracteristica de abatere în regim permanent

Celelalte cauze de instabilitate ce pot apărea, se înrudesc cu aceea din paragraful precedent. Se va examina pe scurt abaterea u_a din exemplul dat în fig. 7-2, ce reprezintă un generator cu cîmp transversal lucrînd ca regulator de tensiune, pe bază de reacție. În ipoteza caracteristicilor liniare, un raționament simplu duce la concluzia că în regim permanent abaterea u_a este proporțională cu e_L (presupunînd că e_L este diferența față de o valoare oarecare, într-un punct în care abaterea poate fi făcută nulă, cînd se datorește acest lucru). În particular, din ecuațiile (3) și (9), neglijînd perturbația întîmplătoare X, rezultă:

$$e_L = \frac{k_0 k_c k_T}{R_c R_T} u_a. \tag{16}$$

În relația de mai sus, u_a este o abatere de regim permanent, sau abaterea care se obține dacă se neglijează efectele de întîrziere produse de inductanțele mașinii.

O asemenea abatere care creşte sau descreşte în raport cu valoarea mărimii de ieşire, este abia permisă în cazul diferitelor regulatoare de tip industrial, cum ar fi regulatoarele automate de tensiune şi viteză. Ea n-ar putea fi tolerată la un sistem de reglare a poziţiei unghiulare la distanţă, cum ar fi mişcarea azimutală a unui tun. O abatere care ar depinde de mărimea deplasării în azimut ar fi desigur înacceptabilă.

Mărimea de ieşire poate fi însă făcută proporţională cu integrala în timp a abaterii. Folosind simbolurile de mai jos pentru mărimile generalizate de la intrare, ieşire şi abatere:

θ_i — mărimea de intrare

θ_0 — mărimea de ieşire

$\theta = \theta_i - \theta_0$ — abaterea

şi neglijînd întîrzierile exponenţiale, am putea, de pildă, să scriem din nou relaţia (16) sub forma generală:

$$\theta_0 = K\theta. \tag{17}$$

Pentru un sistem de comandă de poziţie la distanţă şi presupunînd că ieşirea depinde de integrala erorii:

$$\theta_0 = K\int_0^t \theta \, dt \tag{18}$$

După un timp oarecare, fie el t_1, integrala poate produce tot semnalul necesar pentru a da edalitate între θ_i şi θ_0 adică θ la timpul t_1 poate deveni zero. Ecuaţiei (18) pare să-i lipsească o bază tehnică palpabilă, dar cu toate acestea acţiunea integratoare necesară se poate înţelege cu uşurinţă.

În fig. 7-4 este reprezentat un servosistem R.P.D. (cu reglaj de poziţie la distanţă), într-o formă elementară, pentru demonstraţia de faţă, în care s-au omis detaliile neesenţiale. În această schemă S_1 şi S_2 sînt dispozitive de măsurare a poziţiei, cum ar fi selsinuri sau magslipuri [B. 8], conectate în aşa fel încît tensiunea u_a a semnalului este proporţională (într-un domeniu de funcţionare dat) cu nealinierea dintre axele X de la intrare şi Y de la ieşire. Deci u_a este proporţională cu θ. După cum se vede, semnalul de abatere u_a este amplificat de un amplificator oarecare care alimentează excitaţia gene-

ratorului cu cîmp transversal G; acest generator alimentează indusul motorului de curent continuu M care acționează axul de ieșire Y printr-un angrenaj adecvat.

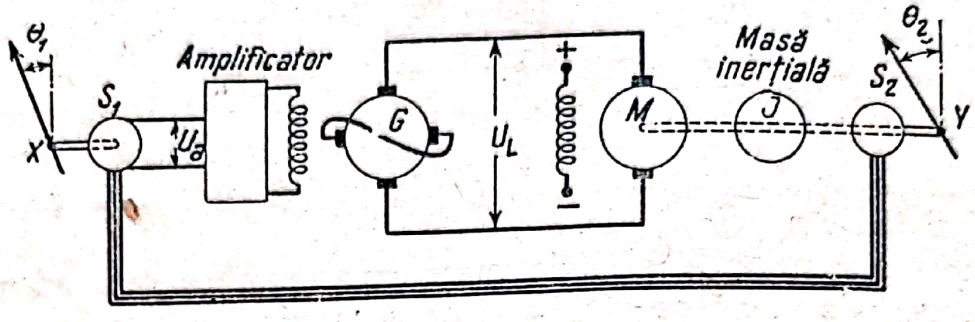


Fig. 7-4. Schema de principiu a unui sistem de reglare a poziției la distanță.

Pentru a simplifica procedura se vor neglija întîrzierile în generatorul cu cîmp transversal și în amplificator. Dacă u_L este tensiunea la bornele generatorului, din cele ce s-au discutat, se poate presupune că u_L este proporțională cu u_a și prin urmare proporțională cu θ. Desigur însă că u_L nu mai este mărimea de ieșire și acum trebuie luată în considerare ecuația mișcării motorului. Un servomotor de curent continuu de acest gen funcționează, de obicei, cu excitație constantă și, neglijînd efectele inerției, se poate face ipoteza aproximativă că viteza sa la ieșire n_0 este proporțională cu tensiunea sa la borne. Astfel:

$$n_0 = Cu_L \text{ și } u_L = D\theta,$$

dar

$$n_0 = \frac{e\theta_0}{dt} = p\theta_0$$

astfel încît $p\theta_0 = K\theta$, unde în K sînt incluse diferitele constante ale sistemului.

Din cele precedente și din ecuația fundamentală a abaterii $\theta = 0_i - \theta_0$, rezultă:

$$\theta_0 = \frac{K\theta_i}{p + K} \tag{19}$$

Originalul, funcție de timp, al acestei expresii operaționale simple se știe că este:

$$\theta_0(t) = (1 - \varepsilon^{-Kt})\theta_i \tag{20}$$

după variaţia lui θ_i cu un salt unitar; după cum era de aşteptat, axul de la ieşire îl urmează pe cel de la intrare şi pînă în cele din urmă, abaterea va fi nulă. O viteză constantă a axului X de la intrare va da aceeaşi viteză axului de la ieşire Y, care însă va întîrzia faţă de axul X cu un unghi ce este proporţional cu viteza.

Prezenţa unei singure întîrzieri exponenţiale ar da naştere la o expresie pătratică la numitorul relaţiei (19) de mai sus şi, după cum s-a văzut în cazul ecuaţiei (11a), ar da posibilitatea unei restabiliri oscilatorii după o perturbaţie.

Servosistemelor R.P.D. de mare precizie li se cere adesea să posede erori de viteză neglijabile şi de aceea este nevoie de o formă de reglaj care să comunice o acceleraţie constantă la ieşire pentru o eroare oarecare de nealiniere. Acest lucru poate fi realizat, în general, cu montajul din fig. 7-4 cu excepţia faptului că se utilizează o metadină subcompensată. Atunci, cu o bună aproximaţie, curentul din indusul generatorului este proporţional cu eroarea. Deoarece cuplul C_M al motorului M de curent continuu, este proporţional cu acest curent, rezultă:

$$C_M = K'\theta$$

şi dacă se presupune că acest cuplu serveşte pentru accelerarea axului de la ieşire

$$C_M = K'' J \frac{dn_0}{dt} = K'' J p^2 \theta_0.$$

Exprimînd pe $K'K''$ şi momentul de inerţie J printr-o singură constantă K, se obţine:

$$K\theta = p^2 \theta_0 \qquad (21)$$

şi

$$\theta_0 = \frac{K}{p^2+K} \theta_0, \qquad (22)$$

din care reiese:

$$\theta_0 (t) = (1 - \cos \sqrt{K_t})\ \theta_i \qquad (23)$$

după un salt unitar a lui θ_i.

După cum se poate deduce din simple consideraţii fizice, se produc oscilaţii continue în jurul poziţiei de aliniere a axului de la ieşire.

Din punctul de vedere al proiectării tehnice, ipotezele făcute în paragrafele precedente reprezintă simplificări inadmisibile, dar demonstrația a servit pentru a putea trage următoarele concluzii:

a) Sistemul de reglare cu abatere de poziție (exemplificat de sistemul din fig. 7-2) posedă o abatere proporțională cu abaterea mărimii de ieșire, de la o valoare dată. Pentru a produce o restabilire oscilatorie ca urmare a unei perturbații, sînt necesare cel puțin două efecte de întîrziere exponențiale în sistem.

b) Sistemul de reglare cu abatere de viteză (sistem de reglare cu amplidină, ca în fig. 7-4) are o abatere proporțională cu viteza constantă de la intrare*). Pentru a da naștere la oscilații este nevoie numai de o întîrziere.

c) Sistemul de reglare cu abatere de accelerație (sistemul metadină subcompensată din fig. 7-4) are o abatere proporțională cu accelerația constantă de la intrare*). El este oscilatoriu chiar și în lipsa întîrzierilor.

Prin urmare, este evident că tipul de abatere poate fi ameliorat sau eliminat numai în dauna unei tendințe mărite spre instabilitate. De asemenea, este evident că trebuie găsite mijloace pentru a se obține integrale de timp ale abaterii pentru anumite clase de sisteme și că generatorul cu cîmp transversal poate fi un mijloc practic de a asigura acțiunea integratoare dorită.

Este de remarcat în plus și necesitatea unor mijloace potrivite de suprimare a oscilațiilor proprii ale sistemului.

MIJLOACE DE STABILIZARE

S-ar putea crede că în special la sistemele de reglare a poziției sau de reglare a vitezei ar putea fi folosită o formă oarecare de amortizor cu frictiune sau cu viscozitate, pentru a limita oscilațiile de la ieșire. Astfel de dispozitive amortizoare absorb însă o putere apreciabilă, sînt lipsite de stabilitate și, în general, sînt mult inferioare circuitelor electrice stabilizatoare ce vor fi descrise în cele ce urmează.

*) Tipurile de sisteme de reglare cu abatere de viteză și accelerație sînt de obicei un fel de sisteme de reglare de poziție la distanță (R.P.D.) și în acest fel nu este nevoie ca ele să se refere la o mărime de referință care în mod obișnuit este zero, adică se poate admite că dacă sistemul este în repaus, axele *X* și *Y* sînt de la început potrivit orientate, ca să fie aliniate.

Există o mare diversitate de circuite stabilizatoare, şi se dispune de diferite metode de proiectare prin care se pot determina parametrii lor. În loc de a prezenta o listă de circuite cunoscute, arătînd că prin unul din ele, ales printr-o selecţie arbitrară, s-ar putea obţine stabilitate, vom prezenta o demonstraţie simplă care să arate că principalele circuite cunoscute sînt înrudite între ele.

Dacă se consideră sistemul cel mai oscilator, discutat pînă aici, adică sistemul cu abatere de acceleraţie, avînd un răspuns dat de relaţiile (22) şi (23) lipsa amortizării oscilaţiilor se poate atribui absenţei unui termen în p, la numitorul $Z(p)$ al ecuaţiei (22).

Deoarece $\theta_0 = \theta_i - \theta$, abaterea sistemului este:

$$\theta = \frac{p^2}{p^2 + K}\theta_i. \tag{24}$$

Pentru aceeaşi abatere în regim permanent, este necesar următorul răspuns amortizat:

$$\theta = \frac{p^2}{p^2 + ap + K}\theta_i \tag{25}$$

Această relaţie determină funcţia de transfer a succesiunii elementelor servosistemului:

$$\frac{\theta_0}{\theta} = \frac{ap + K}{p^2} = \left(1 + \frac{a}{K}p\right)\left(\frac{K}{p^2}\right). \tag{26}$$

Montajul iniţial al metadinei necompensate, în ipotezele făcute, produce partea $\frac{K}{p^2}$ a funcţiei de transfer. În felul acesta, se va dispune de amortizarea cerută, dacă se introduce un circuit modificator în faţa sistemului elementar ce cuprinde metadina etc. Evident că acest circuit trebuie să transmită un semnal proporţional cu θ şi trebuie să producă şi prima derivată $d\theta/dt$. Răspunsul va fi amortizat critic dacă dispozitivul adăugat este astfel încît $a = 2\sqrt{K}$.

Se poate arăta că un circuit, pentru a putea să deriveze un termen de tipul $(1 + Ap)$ va elimina, cel puţin teoretic, una din întîrzierile atribuite generatorului cu cîmp transversal, care după cum s-a văzut, are o funcţie de transfer de forma $K/(1 + pT_c)(1 + pT_T)$; adică A trebuie să fie egal cu T_c sau cu T_T.

Egalitatea exactă stabilită mai sus, nu este cîtuşi de puţin necesară. Nu este nevoie şi este nepractic să se încerce producerea derivatelor în timp ale abaterii, exact ca în teorie; aceeaşi remarcă este

valabilă şi pentru integrarea electrică a abaterii care a fost discutată în paragrafele precedente. Chiar şi valori aproximative ale funcţiunilor $d\theta/dt$ şi $\int \theta dt$ sînt greu de realizat sau nepractice dacă dispozitivul electric care le produce (din θ) este încărcat într-o măsură apreciabilă. Pentru acest motiv, în sistemele cu circuit închis se întîlneşte adesea amplificarea electronică.

În fig. 7-5 sînt reprezentate trei circuite electrice bine cunoscute pentru modificarea semnalului de abatere, spre a se obţine aproximaţii ale derivatei sau ale integralei de timp.

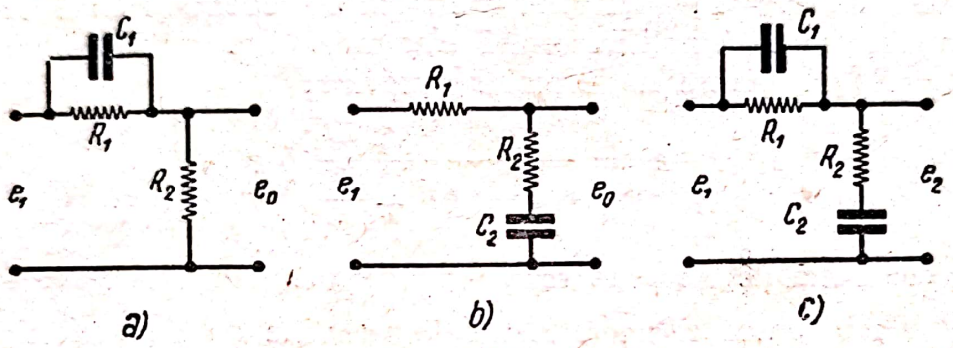


Fig. 7-5. Circuite pentru modificarea abaterii la intrare:

a — abatere plus derivată:

$$e_0 = \frac{R_2}{R_1+R_2} \cdot \frac{1+pC_1R_1}{1+pC_1R_1\left(\frac{R_2}{R_1+R_2}\right)} \cdot e_1;$$

b — abatere plus integrală:

$$e_0 = \frac{1+pC_2R_2}{1+pC_2R_2\left(\frac{R_1+R_2}{R_2}\right)} \cdot e_1;$$

c — abatere plus derivată, plus integrală:

$$e_0 = \frac{p^2+p(a+b)+ab}{p^2+p(a+b+c)+ab} \cdot e_1$$

$$a = \frac{1}{C_1R_1},\quad b = \frac{1}{C_2R_2},\quad c = \frac{1}{C_1R_2}.$$

Funcţiile de transfer citate se deduc uşor şi sînt valabile cu condiţia ca circuitul să aibă o sarcină neglijabilă la ieşire.

Astfel de circuite sînt plasate de obicei la intrarea dispozitivului amplificator; astfel de exemplu e_0 ar alimenta, în general, circuitul de grilă al unui amplificator electronic.

S-a arătat în legătură cu fig. 7-2 şi cu ecuaţia corespunzătoare (11 a) că cele două constante de timp ale generatorului cu cîmp

transversal trebuie să fie cît mai diferite posibil. Să se presupună deci că circuitul din fig. 7-5 *a* este plasat înaintea amplificatorului electronic avînd factorul de amplificare k_0 şi că acesta din urmă, ca mai înainte, alimentează excitaţia maşinii cu cîmp transversal.

Relaţia dintre un semnal de intrare e_1 aplicat circuitului şi tensiunea de ieşire a generatorului e_L este deci:

$$e_L = \frac{R_2}{R_1+R_2} \cdot \frac{1+pC_1R_1}{1+pC_1R_1\left(\frac{R_2}{R_1+R_2}\right)} \cdot \frac{k_0K_u}{(1+pT_C)\ (1+pT_T)} \cdot e_1, \quad (27)$$

Dacă $C_1R_1=T_T$ (0,1 s, în exemplul precedent) şi dacă factorul de amplificare al amplificatorului electronic este mărit în raportul $r=(R_1+R_2)/R_2$, expresia de mai sus devine:

$$e_L = \frac{k_0K_u}{(1+pT_C)\left(1+\frac{pT_T}{r}\right)} \cdot e_1$$

adică constanta de timp aparentă transversală a maşinii este redusă la $\frac{1}{r}$ din valoarea ei reală. Astfel, constantele de timp efective ale întîrzierilor care se pot atribui maşinilor sînt reglabile, cu condiţia ca să se dispună de amplificarea totală necesară; în felul acesta, se poate realiza stabilitatea dorită.

Se poate arăta printr-un procedeu asemănător că montajul din fig. 7-5 *b* poate fi folosit pentru a mări valoarea efectivă a unei constante de timp în circuitul principal al sistemului de reglare.

Circuitul din fig. 7-5 *c* combină funcţiile corespunzătoare circuitelor din fig. 7-5 *a* şi 7-5 *b*.

Trebuie recunoscut că aceste circuite funcţionează numai cu semnale de „curent continuu"; se cunosc însă circuite care funcţionează dacă abaterea este furnizată ca un semnal de curent alternativ, cum ar fi o undă purtătoare modulată; frecvenţa undei purtătoare este uneori 50 Hz, dar pot fi utilizate şi frecvenţe mai înalte, cum ar fi 400 Hz. Deoarece maşinile cu cîmp transversal sînt maşini de curent continuu şi deci nu intervin aici semnale de undă purtătoare modulată, nu vom examina circuitele pentru „curent alternativ" echivalente celor din fig. 7-5 *a*, 7-5 *b* şi 7-5 *c*.

Circuitele pentru intrare, de genul celor descrise sînt practice în cazul sistemelor relativ simple, nu însă şi atunci cînd se doreşte stabilizarea sistemelor complexe care au mai multe întîrzieri; în paragrafele următoare se descrie un mijloc mai practic.

Scanned with OKEN Scanner

Stabilizarea prin reacție

S-a arătat că o reacție atașată la două trepte de întîrziere ale unui generator cu cîmp transversal, ca în fig. 7-2, este oscilatorie în cadrul valorilor practice ale amplificării totale; să considerăm însă o reacție atașată unei singure trepte de întîrziere, cum ar fi un generator de curent continuu obișnuit sau primul etaj al unei mașini cu cîmp transversal.

În fig. 7-6 sînt reprezentate părțile principale ale unui asemenea montaj, presupunînd existența unui preamplificator. Dacă se socotește necesară o amplificare oarecare, nu se poate asigura o reacție de 100% și deci potențiometrul din figură permite să se ia o tensiune de reacție bu_L, în care $b<1$.

Răspunsul fără reacție se deduce imediat:

$$u_L = \frac{A}{pT+1} u_r$$

în care:

A este amplificarea totală în regim permanent;
T — constanta de timp a mașinii.

Dacă se ține seama și de reacție, mărimea de intrare în amplificator este $u_r - b u_L$ și u_L este dată acum de relația:

$$u_L = \frac{1}{b} \cdot \frac{1}{p\frac{T}{Ab}+1} u_r \qquad \text{(dacă } Ab \gg 1\text{)}$$

Prin urmare, constanta de timp aparentă a montajului a fost redusă în raportul $1/Ab$. Dacă constanta efectivă de timp trebuie redusă cu factorul $1/\nu$, pentru a menține factorul de amplificare total original, valoarea cea nouă a lui A trebuie mărită de ν ori. Deci, montajul sistemului din fig. 7-2 ar putea fi stabilizat adăugînd conexiunile de reacție reprezentate punctat, cu condiția ca, din considerente de ordin practic, mărirea amplificării totale a dispozitivelor amplificatoare să fie permisă. Circuitul direct de reacție negativă atașat unui generator are proprietăți foarte asemănătoare cu circuitul de intrare din fig. 7-5 *a*.

Un sistem cu circuit închis, folosind mașini de tipul amplidinei sau al metadinei, va cuprinde în general o serie de dispozitive în cascadă, fiecare avînd constante de întîrziere exponențială T_1, T_2, T_3

etc. cum se vede în fig. 7-7 *a*. Evident că s-ar realiza un pas înainte în ce privește stabilizarea dacă reacția atașată fiecărui element s-ar face așa cum se arată în figură, deși este probabil ca constanta de timp fundamentală a unui element oarecare să fie astfel, încît să nu fie necesar un circuit de reacție atașat acestui element. Căile individuale de stabilizare, cum se arată în fig. 7-7 *a* ar fi însă incomode și de fapt nu sînt necesare. Toată informația necesară pentru obținerea stabilizării poate fi adusă la intrarea (de mică putere) a sistemului, cum se vede în fig. 7-7 *b*, în care caz ar fi însă necesară o reajustare a mărimilor de reacție pentru a se ajunge la același rezultat.

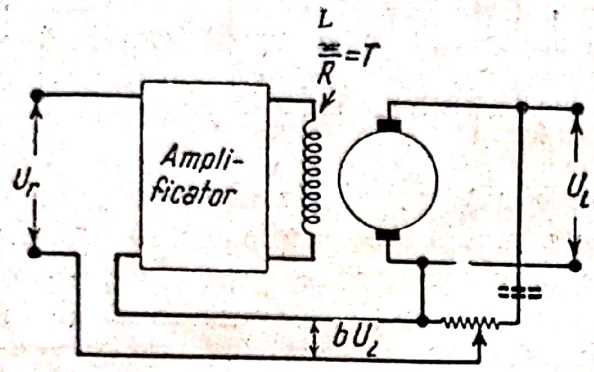


Fig. 7-6. Reacție atașată unei singure trepte de întîrziere.

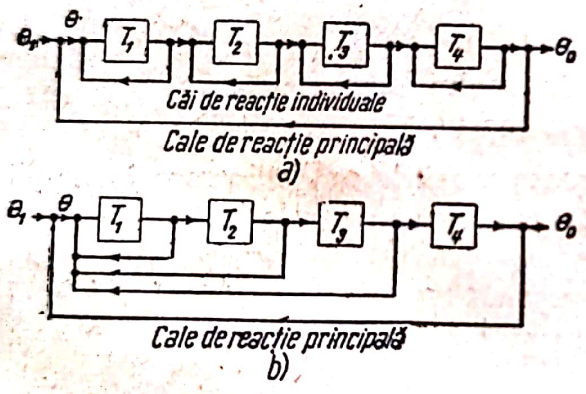


Fig. 7-7. Schema funcțională a reacției stabilizatoare multiple.

Există cîteva dezavantaje practice în realizarea stabilității prin mărirea vitezelor de răspuns, așa cum s-a arătat; este necesar un sistem de amplificare mare, amplificare care este „irosită", din cauza reacției negative. Mai mult, în sistemele electrice de tipul celor considerate, există pericolul ca răspunsul total al sistemului să fie atît de rapid, încît ar putea să se producă suprasolicitări electrice și mecanice. Pentru aceste motive se cere adesea un tip de circuit integrator, adică unul care oferă puțin din caracteristica corespunzătoare circuitului din fig. 7-5 *b*.

Acest lucru se realizează foarte ușor, prin simpla introducere a unui condensator în circuitul de reacție, cum se arată punctat în schema din fig. 7-6. O asemenea conectare poate fi privită ca o imitație în domeniul sistemelor de reglaj a integratorului de reacție Miller, binecunoscut în practica circuitelor electronice.

Acest tip de reacție este aplicabil la un sistem regulator de tensiune, automat, format dintr-o excitatoare amplidină sau metadină și generatorul principal G, a cărei tensiune trebuie reglată precis, cu o abatere în limitele $\pm 0{,}5\%$; lucrul acesta este arătat schematic în fig. 7-8.

Pentru simplificare vom face ipoteza practică că excitația de comandă este furnizată de un amplificator electronic cu tuburi pentode; efectul realizat prin aceasta constă în rezistența mare dinamică pusă în serie cu bobinajul de comandă (E). În acest caz, constanta de timp T_c a generatorului cu cîmp transversal poate fi neglijată. Acest generator poate fi considerat ca avînd o singură constantă de timp T_A. Un circuit compus dintr-un condensator și o rezistență este alimentat cu o parte din tensiunea u_A; se poate arăta ușor că funcția de transfer a elementului condensator-rezistență este:

$$\frac{\text{Tensiunea de ieșire}}{\text{Tensiunea de intrare}} = \frac{pM}{pM+1} \quad \text{unde:} \quad (M=CR).$$

Deci, tensiunea de reacție u_ϱ este:

$$u_\varrho = \frac{pM}{pM+1} b u_A.$$

Continuînd calculul cu metodele algebrice obișnuite, dezvoltate în exemplele precedente, se poate arăta că sistemul regulator poate fi făcut aperiodic în gradul dorit, printr-o alegere potrivită a lui M și b [B. 4].

Sistemul va fi amortizat critic dacă: $M=T_G$ în care T_G este constanta de timp a generatorului principal și dacă

$$b = 2\sqrt{\left(\frac{T_A}{T_G} \cdot \frac{1}{K}\right) \cdot k}$$

în care K este amplificarea totală a sistemului, iar k — amplificarea de tensiune a generatorului principal G, adică raportul dintre tensiunea indusă și cea de excitație.

Considerînd cîteva valori practice, pentru un generator principal de 1 000 kW, $T_A=0{,}2$ s, $T_G=2$s, $K=200$, iar pentru un generator de curent continuu obișnuit valoarea lui k este în general în jurul unității, se obține: $M = CR = 2$ s și $b = 0{,}045$.

În practică se utilizează o valoare mai mare a lui b, pentru a ține seama de orice abateri de la liniaritate și de variațiile altor constante ale mașinilor. O remarcă asemănătoare se poate face și cu

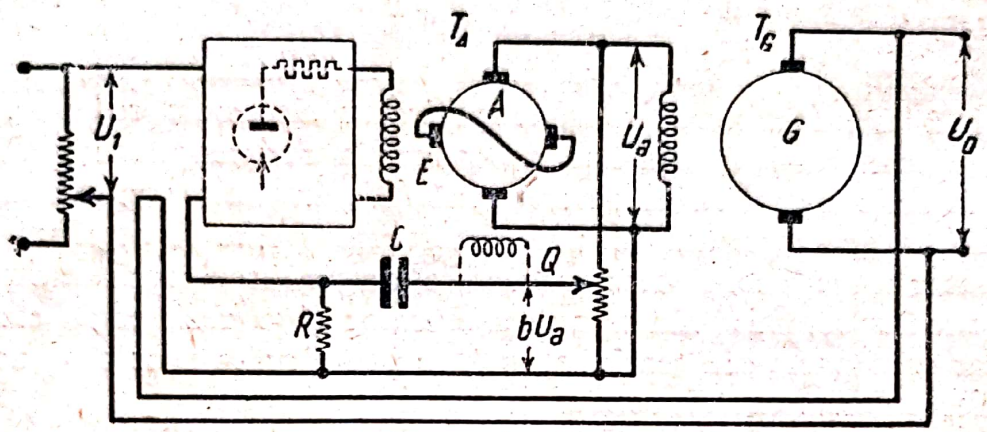


Fig. 7-8. Sistem de reglare a tensiunii cu stabilizare prin reacție.

privire la M și amortizarea mărită ce ar apărea în consecință nu deranjează.

În fig. 7-8 este reprezentată o sursă suplimentară de tensiune stabilizatoare ce poate fi necesară dacă constanta de timp a excitației de comandă a generatorului cu cîmp transversal nu este neglijabilă. Această tensiune suplimentară este luată dintr-un bobinaj statoric Q, cuplat inductiv cu circuitul transversal al mașinii și care producce o tensiune proporțională cu viteza de variație a curentului transversal din axa în scurtcircuit.

Cifrele citate mai sus în legătură cu reacția prin condensator-rezistență scot în evidență două lucruri: a) constanta de timp CR a circuitului stabilizator este dependentă adesea de constanta de timp a elementului următor (ultima) din circuitul principal, cu toate că, în general, este ceva mai mare decît această constantă de timp; b) la montajele obișnuite de excitatoare, generatoare etc. există de obicei un nivel potrivit de tensiune de reacție disponibilă, permițînd o reglare a amortizării cu ajutorul unui simplu reostat potențiometric.

Reacție prin transformator

Discuțiile precedente au fost simplificate prin ipoteza că circuitele de reacție dau o sarcină de impedanță infinită, de exemplu: circuitul de grilă al unui amplificator electronic. Reacția prin conden-

sator-rezistență nu poate fi însă practicată dacă se utilizează un tip de amplificator magnetic sau dacă dispozitivul amplificator este un singur generator cu cîmp transversal. Cînd un amplificator magnetic se află înaintea generatorului cu cîmp transversal, semnalul stabilizator va fi amplificat de obicei pe o înfășurare separată a dispozitivului reactorului de saturație și poate să rezulte deci un circuit de impedanță mică. Dacă tensiunea antioscilatorie este aplicată direct unui generator de tip amplidină, rezistența excitației antioscilatorii nu este posibil să fie mai mare decît 1 000 Ω. În acest caz, ar fi nevoie de valori foarte mari ale condensatorului de reacție.

De aceea, practica curentă utilizează o altă variantă care constă în conectarea unui transformator de reacție în modul indicat în fig. 7-9. Ar putea fi necesar să se țină seama de cuplajul mutual ce poate exista între bobinajele de comandă din generatorul cu cîmp transversal sau ale altui dispozitiv, dar dacă se introduce, ca în fig. 7-9, o rezistență de decuplare R, se poate arăta imediat că reacția prin transformator are o funcție de transfer de forma:

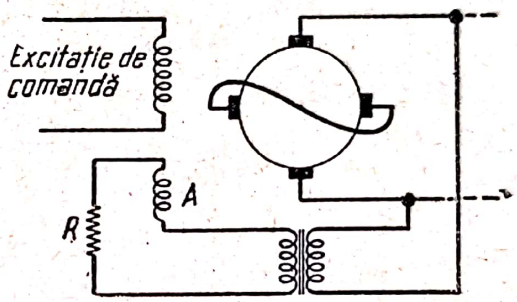


Fig. 7-9. Reacție stabilizatoare cu transformator.

$$\frac{Ap}{1+pT},$$

în care: $T = T_1 + T_2$

$T_1 = \frac{L_1}{R_1}$ este constanta de timp a circuitului primar;

$T_2 = \frac{L_2}{R_2}$ — constanta de timp a circuitului secundar.

Valoarea forței magnetomotoare de reacție a excitației antioscilatorii A, poate fi reglată, reglînd raportul de transformare al transformatorului. Se vede că funcția de transfer este echivalentă cu aceea a circuitului condensator-rezistență.

Bibliografie

1. Glossary of Terms used in Automatic Controlling and Regulating Systems (Capitolul 2 — Process Control) B. S. 1523 : 1949, British Standards Institution, Londra.

Scanned with OKEN Scanner

2. BROWN, G. S. și CAMPBELL D. P. „Principles of Servomechanisms". John Wiley & Sons, New-York 1948.
3. PORTER, A. „An Introduction to Servomechanisms", Methuen & Co., Londra, 1950.
4. WHITELEY, A. L., „Theory of Servo Systems with Particular Reference to Stabilization". *Journal I.E.E.*, 1946, 93 part. II, 353.
5. CARTER, G. W. „The Simple Calculation of Electrical Transients", Cambridge University Press, 1944.
6. JOSEPHS, H. J. „Heaviside's Electric Circuit Theory", Methuen & Co Londra, 1946.
7. BERG, E. J. „Heaviside's Operational Calculus", Mc. Graw-Hill, New-York, 1936, 164.
8. BELL, J. „Data — Transmission Systems". *Journal I.E.E.* 1947, part. II A, 222.

Scanned with OKEN Scanner

8. APLICAȚIILE AMPLIFICATOARELOR ROTATIVE

A. L. WHITELEY, D. Sc., M.I.E.E.

Electronics Engineering Department, The British Thomson—Houston Co. Ltd.

Înainte de a examina aplicațiile specifice ale amplificatoarelor rotative, este bine să facem o comparație între aceste mașini și alte amplificatoare ce stau în prezent la dispoziția industriei.

Comparație generală cu alte amplificatoare

Deoarece puterea necesară excitației de comandă a unei amplidine sau a unei mașini similare este cuprinsă între 0,1 și 1 W, este posibil adesea să se renunțe la o altă formă de amplificare în special atunci cînd se cere numai o precizie moderată a reglajului. Un sistem poate deci să cuprindă numai mașini rotative și dispozitive obișnuite de angrenare și acest sistem este apreciat în industria grea. Nu se introduc probleme noi de întreținere; economia de cost și de greutate în sistemul de reglaj poate să nu aibă o importanță primordială; astfel industria oțelului este un beneficiar al acestui tip de reglaj în circuit închis, un exemplu fiind descris în cele ce urmează.

Un mare avantaj al amplificatorului rotativ constă în însușirea lui de a permite trecerea curentului și în sens invers. Amplificatoarele electrice concurente de tipul magnetic (reactor cu saturație) sau electronic depind de elemente redresoare și, în fond, sînt dispozitive de curent unidirecțional; de aceea, reglajul cu un curent reversibil se realizează în general prin dublarea aparaturii. O altă proprietate, înrudită, a amplificatorului rotativ, este însușirea lui de a lucra în regim recuperativ de energie, de exemplu în cursul perioadei de încetinire (decelerare) a unui motor de acționare. Această funcțiune nu se poate obține ușor de la alte dispozitive amplificatoare electrice. Cele de mai sus pot deveni considerațiuni de primă importanță cînd este vorba de puteri de cîțiva kilowați sau mai mult.

Energia de rotație înmagazinată a mașinii amplificatoare rotative reprezintă adesea o valoare apreciabilă la sistemele care pretind o accelerare ridicată la extremitatea de ieșire mecanică; acest

lucru se aplică la sistemele de telecomandă de poziție pentru tunuri și în alte aplicații. Momentul de inerție al părților în rotație ale generatorului cu cîmp transversal și ale motorului de antrenare cu care este cuplat de obicei, servește adesea pentru a micșora perturbațiile datorate rețelei de alimentare.

Redresoarele cu vapori de mercur (tiratroane) cu catod cald și cu comandă pe grilă, acoperă aproximativ aceeași gamă de putere în kilowați ca și mașina cu cîmp transversal, iar în cazul acționării cu un motor ireversibil au un cost comparativ mai scăzut. Totuși, amplificatorul rotativ poate fi preferat datorită disponibilității sale imediate, deoarece cîteva secunde sînt suficiente pentru a porni mașina și a o aduce la viteza sa de funcționare, în timp ce durata de încălzire a catozilor la tuburile mai mari cu vapori de mercur, poate fi de cinci sau zece minute.

Cu toate că puterea necesară excitației mașinii cu cîmp transversal este foarte mică în comparație cu a generatoarelor de curent continuu, este adesea imposibil, sau cel puțin nu este de dorit, să se instaleze sisteme de măsurare și de stabilizare capabile să furnizeze, de exemplu, 1 W pentru excitație. Deaceea, cum s-a indicat în capitolul precedent, mașina este precedată adesea de un amplificator oarecare. Amplificatorul este în general de tipul electronic sau magnetic, cu scopul de a se exploata avantajul reglajului continuu ce caracterizează amplificatorul rotativ. De fapt, este mai indicat să se considere amplificatoarele electronice, magnetice și rotative ca dispozitive ce se completează unul pe altul decît ca dispozitive concurente, în sistemele de comandă continuă. Exemplele care urmează au scopul de a ilustra aceste considerații cu caracter general.

REGLAREA EFORTULUI DE ÎNTINDERE CU AJUTORUL AMPLIDINEI

În procesul de fabricație continuă a firelor și a benzilor metalice se cere în special să se bobineze materialul înainte de expediere, sau să se realizeze un mijloc convenabil de trecere la faza tehnologică următoare.

Adesea este necesar un grad de precizie convenabil al efortului de întindere în material; un efort de întindere prea mare poate duce la ruperea sîrmei sau a benzii, în timp ce un efort prea mic poate produce alunecarea între straturi. Uniformitatea efortului de întindere

în tot tamburul va duce în general la realizarea uniformității tratamentului și la manipularea mai ușoară în faza tehnologică următoare.

Înfășurarea unei benzi de oțel laminate la rece, este un exemplu referitor la cele spuse mai sus; de obicei, un motor separat antrenează tamburul pe care se înfășoară banda și deci viteza acestei mașini trebuie reglată continuu, atît pentru a o adapta la viteza cu care debitează laminorul cît și pentru a compensa faptul că diametrul tamburului se mărește din ce în ce. S-ar părea că ar fi mai bine să se introducă un dispozitiv care să dea o măsură electrică directă a efortului de întindere în bandă, dar transmisia unei benzi de oțel relativ brute, peste rola unui „călăreț" care să acționeze un tensometru ar fi foarte supărătoare în timpul procesului de laminare. Este suficient să se mențină un curent constant în motorul de curent continuu care înfășoară banda pentru ca efortul de întindere a benzii să fie menținut prin această în limite acceptabile. Neglijînd frecarea și depănarea și presupunînd că motorul tamburului are un randament constant în tot timpul procesului de formare a tamburului, este evident că puterea, în CP a motorului tamburului este dată aproximativ de relația:

$$\eta \frac{UI}{746} = \frac{vT}{33\,000} \quad *)$$

în care:

η este randamentul motorului;
U — tensiunea indusului motorului, în V;
I — curentul indusului motorului, în A;
v — viteza benzii, în picioare/minut (ft/min)**)
T — efortul de intindere în bandă, în livre (lb)***)

Viteza de laminare a benzii se poate presupune că este constantă sau, dacă este variabilă, se dispune de mijloace ca tensiunea U să fie făcută proporțională cu viteza. O altă ipoteză în legătură cu cele spuse, este aceea că motorul nu consumă putere pentru a-și accelera masele sale inerțiale și pe acelea ale tamburului, adică se presupun condiții de mers relativ stabile ale laminorului. În ipotezele de mai sus evident că efortul de întindere este proporțional cu curentul I și prin urmare sistemul de reglaj în circuit închis servește să mențină pe I constant.

---

*) Puterea tamburului în W va fi

$$\eta UI = \frac{vT}{9{,}81}$$

în care: v se exprimă în m/s, T se exprimă în kg.

**) 1 picior = 0,3048 m.

***) 1 livră = 0,453 kg *(N. red. E. T.)*.

În acest scop este potrivit un motor cu curent continuu cu excitație de comandă, deoarece cînd tamburul este gol motorul merge cu viteza maximă și dezvoltă un cuplu minim (cîmp slab). În cazul cînd tamburul este plin, motorul funcționează cu viteză mică și dezvoltă un cuplu mai mare cerut de raza mărită a punctului de aplicație a întinderii, (cîmp maxim).

În fig. 8-1 sînt prezentate părțile principale ale unui sistem de reglare automată a efortului de întindere, cu amplidină, pentru aplicația precedentă. Tamburul R este antrenat de un motor de curent continuu M, alimentat de generatorul G, avînd o tensiune indusă E proporțională cu viteza v a benzii. În mod normal, G este antrenat de laminorul principal.

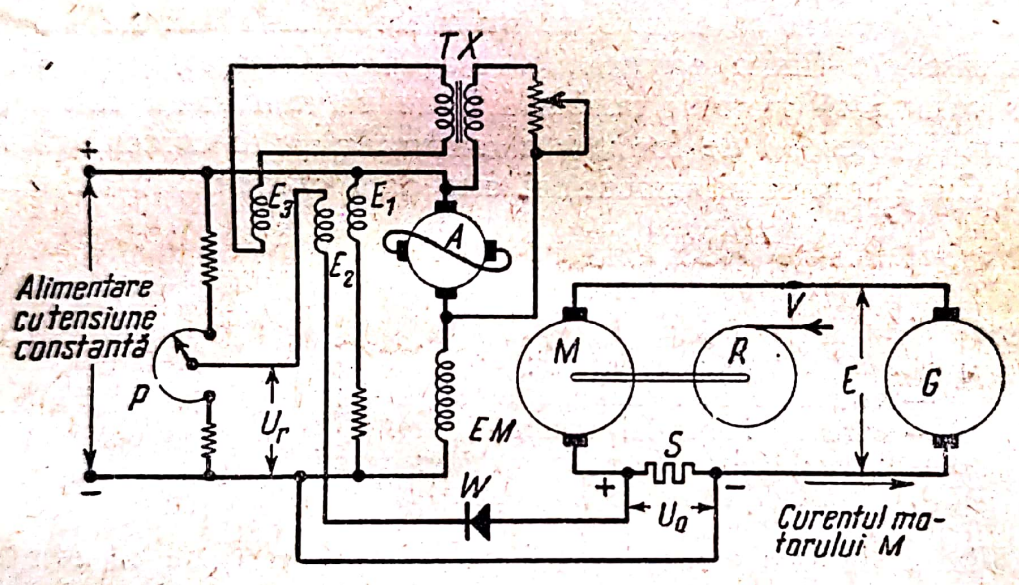


Fig. 8-1. Schema unui sistem de reglare a efortului de întindere la valoare constantă.

Excitația motorului EM este alimentată de o sursă auxiliară de tensiune constantă, în serie cu indusul A al amplidinei care lucrează ca o excitatoare „survoltare-devoltare".

Amplidina este prevăzută cu trei excitații: E_1, E_2, E_3. Excitația E_1 este străbătută de un curent constant, furnizat de sursa auxiliară de curent continuu. Excitația amplidinei produsă de bobinajul E_1 este astfel, ca valoare și sens, încît „devoltează" (se opune) tensiunii constante de alimentare în curent continuu și dă astfel o tensiune rezultantă mică în excitația EM a motorului tamburului.

Informația în ceea ce privește curentul din indusul motorului, se obține prin intermediul căderii de tensiune IR în șuntul S și aceasta se compară cu o tensiune de referință u_r obținută de la reostatul potențiometric P. Diferența care este semnalul de abatere se aplică excitației E_2 a amplidinei. Redresorul W este introdus în acest circuit de excitație pentru a asigura curentului de comandă în permanență sensul potrivit, astfel încît sensul forței magnetomotoare a lui E_2 să fie totdeauna astfel încît să dea o acțiune „survoltoare" a amplidinei pentru excitația EM.

Funcționarea sistemului de reglare

Funcționarea sistemului de reglare cu circuit închis este deci următoarea. Pe măsură ce tambrul se umple, motorul trebuie să se învîrtească cu viteză mai mică, deoarece viteza de laminare a benzii este determinată de laminor. Deci, forța contraelectromotoare a motorului descrește și aceasta face să crească curentul din indus. Căderea de tensiune IR în șuntul S mărește alimentarea lui E_2 în sensul „survoltării', adică intensitatea cîmpului motorului M crește. Astfel, forța contraelectromotoare a motorului crește și ea, împiedicînd creșterea curentului din indusul motorului.

În mod asemănător, o scădere a valorii curentului din indus va determina reducerea forței contraelectromotoare a motorului M, care la rîndul ei va face să crească curentul din indus.

Din punctul de vedere al tratării teoretice din capitolul precedent, termenilor „mărime de intrare" și „mărime de ieșire" le corespund următoarele mărimi ale sistemului considerat: mărimea de intrare este u_r, determinată de poziția pe care este reglată tensiunea la reostatul de reglaj P iar mărimea de ieșire este u_0 adică căderea de tensiune IR în șuntul S. Tensiunea aplicată excitației E_2 este mică în comparație cu u_r sau u_0 și deci acțiunea sistemului este să realizeze o egalitate aproximativă între u_r și u_0. După cum s-a indicat mai înainte, u_0 este o măsură a curentului din indus, care la rîndul său, în ipotezele făcute, este o măsură a efortului de întindere a benzii.

Stabilizarea și corecția inerției

Sistemul descris pînă acum ar oscila pentru orice grad de reglaj în curent constant. De aceea se aplică o reacție stabilizatoare excitației E_2 prin transformatorul antioscilant TX. Alimentarea directă a excitației antioscilante cu energia de stabilizare, cere un transfor-

Scanned with OKEN Scanner

mator relativ mare, cîntărind circa 75 kg, deoarece motorul tamburului pentru un laminor mare poate atinge 900 CP, acest lucru n-are importanță și sistemul în ansamblul lui este potrivit pentru practica laminoarelor.

În cursul accelerării și încetinirii laminorului și tamburului, puterea (și deci curentul) trebuie absorbită sau debitată de motorul tamburului, datorită momentului său propriu de inerție și celui al tamburului. În aceste condiții, menținerea unui curent constant poate să nu asigure un efort de întindere a benzii între limitele dorite. De aceea, practica actuală mai include încă o amplidină care produce acțiunea compensatoare potrivită pentru componenta de inerție a curentului din indus [B 1].

Mai multe procese de fabricație din industriile metalurgice necesită reglajul înfășurării; o problemă similară este comanda vitezei relative a materialului pe bandă, cînd el este trecut de la un proces de fabricație la următorul. În special în industria oțelului, metadina, amplidina și magnavoltul și-au găsit foarte multe întrebuințări; adesea, amplificatorul rotativ dă toată amplificarea necesară, cu toate că în instalațiile mai moderne, a fost utilizată preamplificarea magnetică pentru a mări performanța sistemului.

REGLAREA AUTOMATĂ A TENSIUNII

Regulatorul automat de tensiune, utilizat pentru menținerea constantă a tensiunii la bornele unui generator, este dintre cele mai cunoscute exemple de sistem cu circuit închis, cu reacție, din electrotehnică. În cazul generatoarelor de curent alternativ, comanda tensiunii se realizează cu un dispozitiv care reglează tensiunea aplicată excitației excitatoarei de curent continuu, care asigură alimentarea excitației alternatorului. Pentru acest scop, se utilizează cunoscutele regulatoare de vibrație sau alte regulatoare cu contacte multiple, regulatoare discontinue.

În ultimii ani, se manifestă o tendință accentuată spre un tip de regulator cu reglaj continuu automat de tensiune, adică unul în care excitația diferitelor mașini să fie o funcție continuă de abaterea tensiunii liniei de la valoarea ei prescrisă. Acest lucru este necesar în instalațiile militare, unde adesea se cere un răspuns rapid și un reglaj precis pentru a împlini cerințele unor dispozitive speciale, la alternatoarele și la generatoarele de curent continuu care dau energia necesară pentru unele procese de fabricație speciale, cum ar fi fabricația

hîrtiei şi într-o măsură mai mică, pentru alternatoarele mari din centralele electrice. În legătură cu acestea din urmă, se înţelege bine că generatoarele mari şi compensatoarele sincrone, în special ca unităţi izolate la capătul unei linii lungi de transport, pot necesita regulatoare cu acţiune rapidă, cu un grad înalt de stabilitate.

Sistemul de reglare automată reprezentat în fig. 8-2 este de felul celor utilizate pentru generatoarele foarte mari, adică pînă la cîteva zeci de megavoltamperi; el este de tipul cu reglaj continuu şi foloseşte ca subexcitatoare un generator cu cîmp transversal.

Alternatorul G_1 este excitat de excitatoarea principală G_2 cuplată, ca de obicei, cu arborele principal al turbinei. Subexcitatoarea de tensiune constantă G_3, acţionată de asemenea de arborele principal, nu furnizează, însă, direct excitaţie lui G_2, aşa cum se practică uneori. În schimb, ea furnizează energie agregatului motor-generator separat mecanic, care cuprinde motorul de curent continuu M şi generatorul cu cîmp transversal G_4. Indusul lui G_4 alimentează după cum se vede, excitaţia excitatoarei principale G_2.

Se ajunge la acest aranjament al maşinilor, din dorinţa de a furniza tuturor energie de la arborele principal al turbinei, eliminînd

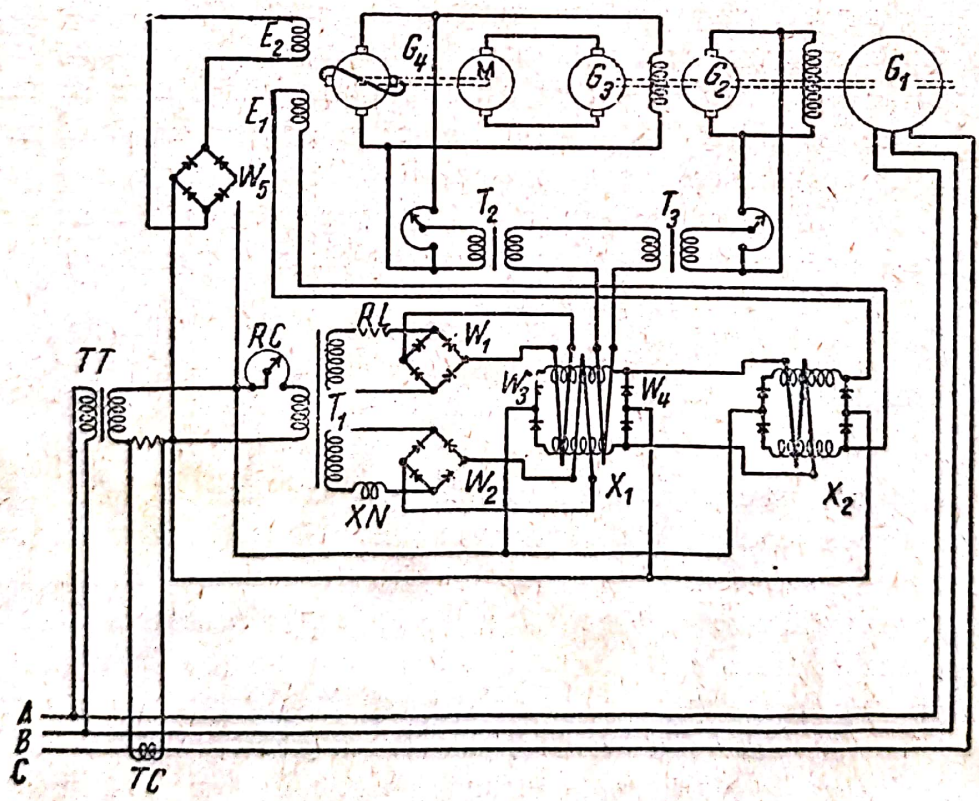


Fig. 8-2. Schema unui sistem de reglare a tensiunii.

astfel necesitatea oricărei surse auxiliare de energie pentru nevoile excitației. Montajul acesta mai permite și funcționarea generatorului cu cîmp transversal la o viteză normalizată care, în special în cazul unităților hidroelectrice este puțin probabil să fie viteza arborelui principal. (Viteza preferată pentru un generator cu cîmp transversal de tipul discutat, este de ordinul a 1 200—1 500 rot/min, în timp ce viteza întîlnită în mod obișnuit la grupurile alternator-turbină cu abur este de 3 000 rot/min; în cazul grupurilor hidroelectrice, însă, viteza arborelui principal este adesea în jurul a 100 rot/min).

În fig. 8-2, se cere deci ca excitația generatorului cu cîmp transversal G_4 să fie astfel reglată, încît să mențină constantă tensiunea alternativă de linie generată, cu o abatere maximă de $\pm$ 0,5%. Aceasta presupune o amplificare totală în tensiune de circa 200. Ținînd seama de dorința de a se evita o sursă auxiliară de energie este necesar în consecință să se comande capătul de „intrare" al sistemului regulator din transformatorul de tensiune TT (adică din transformatorul de măsură ce trebuie prevăzut între barele generale de înaltă tensiune în curent alternativ și dispozitivele de reglare și de măsurare în centrală). Încărcarea transformatorului de tensiune ar fi excesiv de mare dacă toată amplificarea ar fi realizată numai de generatorul cu cîmp transversal; de aceea se utilizează un preamplificator. El cuprinde două etaje de amplificare magnetică și este reprezentat în partea de jos a fig. 8-2. Menționăm că în această schemă, mașinile electrice din partea de sus a schemei sînt destul de mari și grele în timp ce amplificatorul magnetic și celelalte elemente asociate, din partea de jos a schemei, sînt instalate în picioarele patrate ale panoului instalației de reglare automată.

Funcționarea sistemului de reglare

Neglijînd prezența transformatorului de curent TC, transformatorul de tensiune TT dă o tensiune joasă de alimentare a transformatorului T_1; RC este un reostat de comandă pentru stabilirea tensiunii de funcționare a sistemului de curent alternativ. Cele două bobinaje secundare ale lui T_1 alimentează un circuit liniar și un circuit neliniar; primul cuprinde rezistența fixă RL și puntea redresoare W_1, care dă curent continuu unei înfășurări a reactorului amplificator auto-polarizant X_1. Curentul continuu al acestui circuit, în funcție de tensiunea liniei este reprezentat de linia (I) din fig. 8-3 *a*. A doua

înfăşurare a transformatorului T_1 alimentează redresorul W_2, trecînd prin reactorul neliniar XN; acesta este făcut neliniar printr-o secţiune transversală restrînsă a unei părţi din miezul său de fier şi prin premagnetizarea produsă de un magnet permanent montat în circuitul fierului. Astfel, într-un anumit domeniu de tensiune, reactorul XN lasă să treacă un curent aproape constant, care dă caracteristică neliniară (II) a excitaţiei amplificatorului (fig. 8-3 *a*).

Aceşti curenţi de excitaţie produc forţe magnetomotoare în opoziţie, aşa încît excitaţia de comandă rezultantă a lui X_1 este dată de (II)—(I).

Regiunea de funcţionare este chiar deasupra punctului de intersecţie reprezentat în fig. 8-3 *a*, aşa încît o mică creştere a tensiunii de linie produce o creştere mare a excitaţiei utile a lui X_1 şi invers.

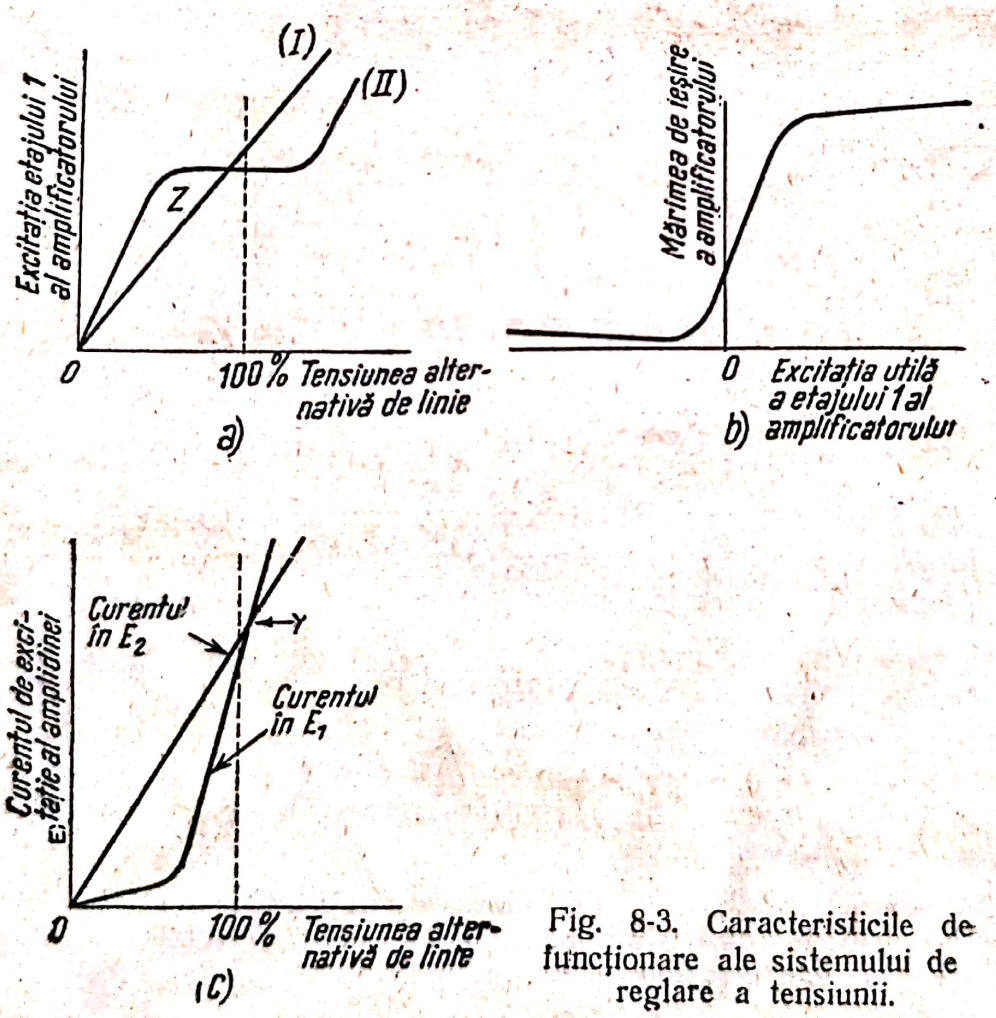


Fig. 8-3. Caracteristicile de funcţionare ale sistemului de reglare a tensiunii.

Reactorul X_1 este autopolarizant datorită redresoarelor W_3 și W_4 din circuitul său de curent alternativ. Aceasta produce o caracteristică de felul celei din fig. 8-3 *b* și în partea crescătoare a caracteristicii se dispune de o amplificare utilă de putere; efectul polarizant, adică debitul și amplificarea neglijabile în partea stîngă a punctului de funcționare împiedică funcționarea incorectă în zona Z, adică la tensiuni joase ale liniei.

Prin X_2 este însemnat un reactor similar, alimentat de la ieșirea lui X_1 și care ridică nivelul de putere al debitului, suficient pentru a da 1 watt de excitație generatorului G_4. Cele două etaje reactive X_1 și X_2 dau o amplificare totală de circa 100, o valoare relativ mică, deoarece constantele de timp se cere să aibă o valoare mică, de circa 0,05 s.

Curentul din bobinajul de excitație E_1, în funcție de tensiunea liniei, este reprezentat în fig. 8-3 *c*; curentul în excitația E_2 variază liniar cu tensiunea fiind furnizat de redresorul W_5 din circuitul transformatorului de tensiune. Diferența reprezintă excitația utilă a generatorului G_4, regiunea de funcționare normală fiind imediat sub punctul de intersecție Y. Rezumînd deci, o mică scădere a tensiunii liniei de la valoarea ei nominală, produce o schimbare apreciabilă a excitației rezultante a lui X_1, care este amplificată de X_2 și care dă tensiune mărită generatoarelor G_4, G_2 și generatorului principal G_1. Invers, o creștere a tensiunii liniei, reduce excitația lui G_4 etc.

Circuitul liniar și cel neliniar a lui RL și XN pot fi privite ca furnizînd tensiunea de referință u_r a regulatorului elementar de tensiune, reprezentat în fig. 7-2.

Din fig. 8-2 se vede că sistemul prezintă o succesiune de șase întîrzieri exponențiale și anume: cele două constante de timp ale amplificatorului magnetic cu două etaje, cele două constante de timp ale axelor longitudinală și transversală ale generatorului cu cîmp transversal și constantele de timp, mai mari a excitatoarei principale și a generatorului principal de curent alternativ.

Sistemul ar fi foarte instabil fără circuitele antioscilante potrivite, care cuprind cele două transformatoare stabilizatoare T_2 și T_3, alimentate de circuitele indusurilor generatoarelor G_4, respectiv G_2.

Ajustarea prealabilă a reacției stabilizatoare este necesară pentru a ține seama de diferitele tipuri de generator principal și de excitatoare. Constantele de timp tipice ale sistemului sînt date mai jos:

Scanned with OKEN Scanner

Generatorul principal de curent alternativ G_1	0,4 s, constanta de timp în scurt-circuit (adică mașina pusă în paralel cu un sistem de mare putere); 5—10 s, constanta de timp în circuit deschis.
Excitatoarea principală G_2	0,2—1 s.
Amplidina G_4	$T_c + T_T = 0{,}5$ s.
Amplificatorul magnetic	0,05 s pe etaj.

Mersul în paralel al generatorului principal G_1 cu alte generatoare, pe barele generale *ABC*, se face într-un mod obișnuit în practica regulatoarelor automate, prin conectarea transformatorului de curent *TC* pe faza *C* și a transformatorului de tensiune pe fazele *AB*.

REGULATOARELE DE POZIȚIE LA DISTANȚĂ

Regulatoarele de poziție la distanță pentru tunuri, antene de radio-locație și pentru dispozitive militare de genul celor care cer la distanță, puteri la ax în jur de 0,5 CP și mai mari, reprezintă unul din cele mai vaste domenii de aplicare a mașinilor electrice amplificatoare. În prezent, numărul generatoarelor metadină și amplidină pentru această categorie de aplicații depășește cu mult numărul corespunzător celorlalte aplicații ale acestor mașini.

În general, mașina cu cîmp transversal alimentează cu energie indusul motorului de curent continuu mai mult sau mai puțin depărtat care acționează axul comandat; pentru unitățile de putere foarte mare, amplificatorul rotativ poate lucra ca excitatoare a unui agregat Ward-Leonard, cu o putere moderată la ieșire.

Avantajele mașinii cu cîmp transversal pentru genul acesta de aplicații au fost deja menționate la începutul acestui capitol, una din considerentele majore fiind însușirea acestei mașini de a produce un curent de ieșire reversibil. De asemenea, mașina poate fi excitată comod dintr-un amplificator electronic simplu, care cuprinde și circuitele stabilizatoare necesare.

Pentru a îndrepta un tun spre presupusa „poziție a țintei viitoare" sau pentru a îndrepta fascicolul unei instalații de radio-locație asupra unei ținte, trebuie reglat unghiul azimutal și unghiul de elevație, trebuie deci prevăzute două sisteme de telecomandă de poziție, independente. În fig. 8-4, este reprezentat un singur sistem de

acest fel, anume pentru mișcarea azimutală; sistemul pentru mișcarea în înălțime este adesea identic cu diferența că este posibil să aibă o putere mai mică la ieșire.

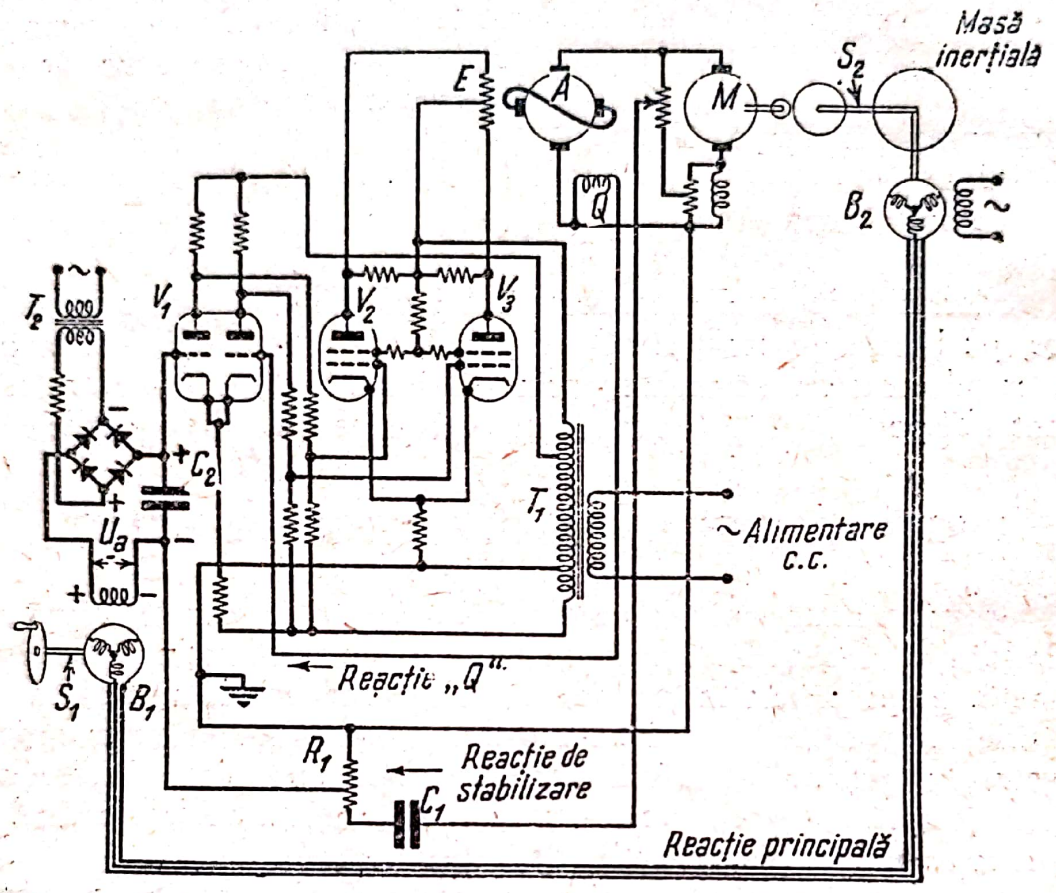


Fig. 8-4. Schema unei telecomenzi de poziție.

În cazul nostru S_2 reprezintă axul mișcării azimutale, care trebuie să urmărească cu precizie mișcarea axului de la intrare S_1. Pentru a roti pe S_1 este necesar un cuplu de numai cîteva zeci sau sute de g.cm, în timp ce motorul M care acționează axul de la ieșire poate să aibă de furnizat un cuplu de cîteva sute de kg.m axului de mișcare azimutală. Între motorul M și axul S_2 este necesar în general un angrenaj de foarte bună calitate în ce privește jocul, erorile de pas ale dinților etc.

Este necesar să se furnizeze o informație electrică asupra diferenței dintre pozițiile unghiulare ale lui S_1 și S_2, adică se cere un semnal proporțional cu θ, unde $\theta = \theta_i - \theta_c$.

Acest lucru se obține în mod obișnuit prin interconectarea magslipurilor sau a selsinurilor, notate pe schemă cu B_1, și B_2. Aceste mașini sînt descrise în alte lucrări [B 6]; aici vom afirma doar că tensiunea de ieșire u_a produsă de rotorul lui B_1, este proporțională cu decalajul unghiular. Tensiunea u_a este alternativă și inversarea sensului unghiului de nealiniere are ca urmare inversarea fazei lui u_a în raport cu o fază dată, fixată de alimentarea de curent alternativ la celălalt magslip B_2. Aceeași alimentare de curent alternativ trebuie furnizată amplificatorului electronic ce cuprinde un tub preamplificator V_1 și tuburile electronice V_2 și V_3 ale etajului de putere, de la ieșire. În poziția de aliniere a axelor S_1 și S_2, rotoarele mașinilor B_1 și B_2 sînt perpendiculare în raport cu interconectările lor statorice și tensiunea de abatere u_a este nulă. Ambele grile ale tubului dublă-triodă V_1 au potențiale egale; astfel, prin V_2 și V_3 trec curenți anodici egali care au sensuri opuse în bobinajul de excitație E cu priză mediană al generatorului amplidină A. Excitația utilă a mașinii este deci nulă și motorului M nu i se furnizează energie. Sistemul rămîne în repaus.

Dacă se deplasează axul S_1, va apărea o tensiune alternativă de abatere u_a care este demodulată de redresor și de tensiunea de referință cu fază dată din T_2. Redresorul demodulator devine conductor numai în semiperioade alternate ale tensiunii alternative de referință. Deci cu o fază relativă a semnalului abaterii, așa cum se indică în schemă, se aplică condensatorului C_2 o sarcină pozitivă în raport cu pămîntul, adică pe grila stîngă a lui V_1 există acum potențial pozitiv; se neglijează deocamdată orice tensiune ce ar putea exista la bornele lui R_1.

În semiperioada următoare a tensiunii alternative de alimentare, amplificatorul devine activ, adică anozii sînt pozitivați; în virtutea modului de conectare (dublă triodă) a lui V_1 și a potențialului pozitiv a lui C_2, curentul prin anodul din stînga crește, iar prin anodul din dreapta scade, în comparație cu condiția de semnal nul. Acest lucru produce o dezechilibrare a curentului anodic în V_2 și V_3, adică un curent mărit în jumătatea inferioară a excitației E și un curent redus în jumătatea superioară a aceluiași bobinaj de excitație. Excitația rezultantă a amplidinei antrenează motorul în direcția care tinde să reducă abaterea. Invers, o nealiniere în celălalt sens, va da o sarcină negativă pe C_2 și va produce o excitație a amplidinei în sens invers; astfel, motorul va fi din nou mișcat spre poziția în care axele S_1 și S_2 sînt în aliniere.

Scanned with OKEN Scanner

Mijloacele de stabilizare sînt foarte necesare; în sistemul reprezentat se utilizează o reacție prin condensator și rezistență de la indusul motorului, cu toate că poate să fie nevoie să se deriveze tensiunea proporțională cu viteza de la un generator tahometric de curent continuu, separat, angrenat cu axul de la ieșire. Pe lîngă o componentă proporțională cu viteza axului ($p\theta_0$) este necesar în general să se adauge o componentă proporțională cu accelerația ($p^2\theta_0$) și pentru aceasta este de obicei suficient să se realizeze o reacție de tensiune proporțională cu o cădere de tensiune IR în circuitul indusului. Conexiunea potențiometrului produce valorile potrivite ale componentelor menționate. Această tensiune totală de reacție modificată în mod convenabil de C_1 și R_1, se adaugă în serie cu semnalul de abatere u_a pentru a acționa asupra preamplificatorului.

Cele două întîrzieri (T_c și T_T după simbolurile utilizate anterior) ce au fost deja discutate în legătură cu generatorul cu cîmp transversal, pot să necesite o a doua sursă de reacție, adică una care depinde de curentul transversal al lui A. Astfel excitația Q este cuplată inductiv cu circuitul transversal și produce o forță electromotoare stabilizatoare în plus, care este aplicată grilei din dreapta a primului etaj al amplificatorului.

Se cer adesea precizii statice în limita a două minute de arc; preciziile dinamice cerute sînt în limitele a încă un minut de arc pentru o viteză de 10^0/s, iar eroarea de accelerație este de ordinul a 10′ pentru $10^0/s^2$.

Un asemenea sistem este în fond un sistem de reglaj de abatere a accelerației, proprietate produsă de amplificarea totală foarte mare, în combinație cu calea de reacție CR. Reacțiile de felul descris dau un grad de libertate potrivit față de instabilitate, cu condiția ca sistemul mecanic, cuprinzînd angrenajul etc., să fie de calitate corespunzătoare. Totuși, o ușoară depășire într-un sens sau în altul după o perturbație bruscă, nu poate fi evitată.

După cum s-a mai menționat, comanda de înaltă exactitate a poziției unghiulare a unui ax, mai mult sau mai puțin depărtat se întîlnește în special pentru dispozitive militare. Aplicațiile nemilitare de astăzi tind să devină oarecum mai specializate, și sînt relativ puține ca număr. Comanda unghiulară precisă poate fi tradusă într-o comandă liniară exactă, prin utilizarea directă a unui angrenaj cu șurub melc și roata melcată precis prelucrate, sau altfel, utilizînd un șurub conducător corect filetat, ca în practica mașinilor unelte. O aplicație la mașini unelte a sistemului de comandă poziționlă ce

folosește preamplificarea electronică și generatoare metadină sau amplidină a fost descris în [B 7, 8.]; ea poate fi aplicată la strunguri, la mașini pentru tăierea automată a unui profil după un șablon dat. Sistemul poate fi cu comandă pentru o singură dimensiune, ca la funcționarea automată a unui strung de copiat, sau în cazul profilării automate dintr-o mașină, capul trasator care traversează șablonul, comandă ambele mișcări din planul de tăiere. Sistemul poate fi aranjat să aibă o viteză de tăiere constantă, fixată dinainte. S-a realizat de asemenea profilare automată tridimensională (cu trei generatoare amplidine pentru comanda motoarelor din fiecare plan) pentru operații mai complexe, cum ar fi gravarea prin săpare, a treia alimentare automată fiind folosită ca o alimentare pentru a treia dimensiune, între trecerile celorlalte două.

Un alt exemplu de comandă liniară exactă, ce folosește aceleași principii în legătura cu fig. 8-4, este comanda barelor de comandă ale reactoarelor nucleare, prin amplidină și angrenaj cu șurub melc și roată melcată, pentru a obține o mișcare liniară. În unele cazuri s-a folosit preamplificarea electronică, așa cum s-a descris, iar în altele s-a obținut o amplificare suficientă numai cu amplidine.

REGLAJUL DE VITEZĂ CONSTANTĂ CU AJUTORUL MAGNICONULUI

Reglarea precisă a vitezei unui motor electric este o cerință foarte obișnuită în multe procese de fabricație: cerință strîns legată de aceasta este și necesitatea unei game mari de viteze. Cînd se dorește obținerea unei precizii superioare de reglaj, cu abatere de $\pm 3\%$ sau a unei game de viteze cu raport mai mare de 5/1, este, în general, necesară utilizarea unui sistem oarecare de amplificare și reacție.

Toate tipurile de amplificatoare rotative menționate au fost aplicate la o varietate de sisteme regulatoare de viteză. În cele ce urmează vom descrie folosirea magniconului la comanda vitezei unui grup format dintr-un alternator, antrenat de un motor de curent continuu. Condiția impusă este reglarea frecvenței alternatorului cu o precizie de $\pm$ 1%, independent de variațiile tensiunii rețelei de curent continuu etc.

În fig. 8-5 *a*, este reprezentată o schemă a sistemului și pentru completarea ei se arată și sistemul de reglare automată a tensiunii alternatorului (fig. 8-5 *b*). Motorul de curent continuu *M* acționează

grupul motor-alternator compus din 5 unități, celelalte mașini fiind: alternatorul *A*, magniconurile *MM* și *MA* și generatorul pilot *P*.

Motorul *M* este lamelat și compensat și prevăzut cu un bobinaj

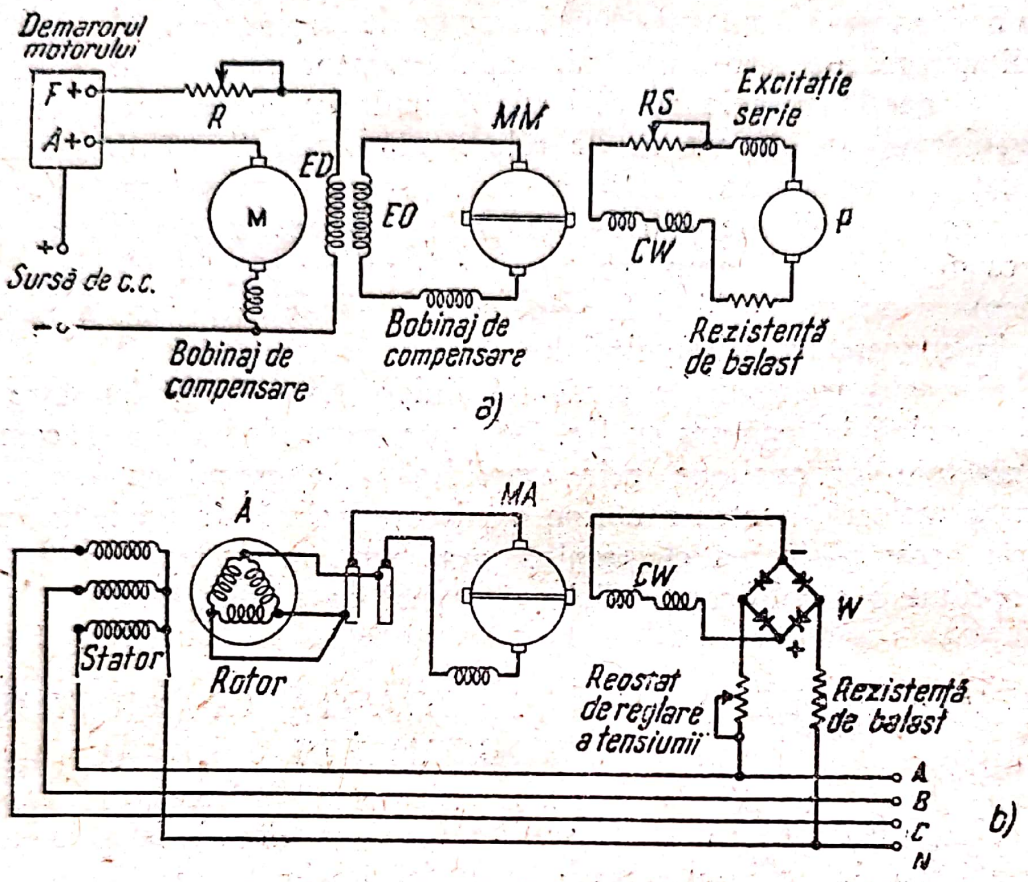


Fig. 8-5. *a* — Schema reglajului de viteză constantă cu ajutorul magniconului, aplicat unui grup — mașină de c. c. — alternator; *b* — Schema de reglare automată a tensiunii alternatorului (Toate mașinile sînt cuplate mecanic).

derivație *ED* cum se vede în schemă; excitatoarea magnicon *MM* a motorului alimentează bobinajul devoltor, sau de opoziție *EO*. Generatorul pilot serie *P* alimentează bobinajele de comandă *CW* ale magniconului, rezistența balast și reostatul de reglaj, toate montate în serie.

Funcționarea sistemului de reglare poate fi înțeleasă cu ușurință, presupunînd că grupul se rotește cu viteza normală, valoarea convenabilă a excitației derivație a motorului *M* fiind determinată de o valoare potrivită fixată dinainte a rezistenței de excitație *R*. Generatorul serie pilot are o astfel de caracteristică, încît excitația să crește numai cînd viteza lui se apropie de valoarea dorită; rezultatul este o variație relativ mare a tensiunii generatorului pilot pentru creșteri mici de viteză. Dacă, prin urmare, viteza grupului motor

alternator creşte peste valoarea prescrisă are loc o creştere apreciabilă a curentului de excitaţie al magniconului; totuşi, aşa după cum s-a arătat mai sus (v. cap. 4) maşina posedă o forţă magnetomotoare constantă „artificială" prin efecte de saturaţie în regiunea polilor axei de comandă. Valoarea mai mare a excitaţiei cerută pentru magnicon face ca forţa magnetomotoare a bobinelor de excitaţie care îmbrăţişează circuitul nesaturat să depăşească această forţă magnetomotoare constantă, avînd ca rezultat o descreştere a excitaţiei utile a magniconului şi o descreştere a excitaţiei de opoziţie *EO*. Prin urmare, excitaţia rezultantă a motorului *M* creşte şi astfel viteza se reduce. În mod similar, o scădere a vitezei sub valoarea prescrisă va face ca debitul magniconului să crească şi să reducă excitaţia motorului *M*.

Sistemul exercită o acţiune regulatoare pentru o viteză permanentă care este determinată de rezistenţa circuitului de comandă al magniconului; deci, fixarea vitezei se face prin ajustarea reostatului *RS* din acest circuit.

O aplicaţie tipică este reglajul frecvenţei grupurilor motor-alternator al surselor de curent din laboratoare. Performanţele sînt următoarele: nici o variaţie măsurabilă de viteză de la gol, la plină sarcină; variaţie de viteză în limita a 0,07% pentru o variaţie de 1% a tensiunii continue de alimentare a motorului şi o variaţie de viteză în limitele de $\pm$ 0,5% în condiţiile de lucru ale maşinii reci şi calde, la variaţii ale temperaturii ambiante cu 20°C.

În fig. 8-5 *b* este reprezentat alternatorul şi circuitul său de comandă a tensiunii, cu magnicon. Redresorul *W* alimentează excitaţia magniconului, proporţională cu valoarea medie a tensiunii la bornele alternatorului. Magniconul *MA* este la fel cu magniconul *MM* şi produce forţa sa magnetomotoare proprie internă de referinţă. Astfel, o creştere a tensiunii liniei peste valoarea prescrisă micşorează forţa magnetomotoare utilă a magniconului şi ca urmare, rezultă o reducere corespunzătoare a excitaţiei alternatorului; lucrurile se petrec invers la o scădere a tensiunii liniei.

Bibliografie

1. SPENCE, W. „Amplidyne Control of Tension in the Metal Industries". *BTH Activities*, 1949, 20, 185.
2. BINNEY, E. A. şi ASBURY, A. „The Magnavolt Exciter" *Englisch Electrical Journal*, 1950, 3, 71, 76.

Scanned with OKEN Scanner

3. BOLTON, D. „Electrical Equipment for Sheet Steel and Tinplate Production", *BTH Activities*, 1952, 23, 122.
4. MILNES, A. G. „Magnetic amplifiers". *Proc. I.E.E.* 1949, 96, part. II, 329.
5. PETTIT, R. D. „Magnestats and their Applications". *Electrical Review*, 1952, 151, 173.
6. BELL, J. „Data — Transmission Systems". *Journal I.E.E.*, 1947, 94, part. II, A 222.
7. GHALIB, S. A. „Electronic Control of Machine Tools". *Metropolitan Vickers Gazette*, 1950, 23, 224.
8. MORGAN, J. M. „Machine Tool Contour Controller". *Electronics*, 1946, 19, 92.
9. MACFARLANE, J. C., MACFARLANE, J. W. și MACFARLANE, W. I. „Inherent Current Voltage and Speed Control in Dynamo-Electric Machinery". *Proc. I.E.E.*, 1952, 99, Part. II, 421.

Scanned with OKEN Scanner

ANEXĂ

APLICAȚIILE AMPLIFICATOARELOR ROTATIVE

Pentru a ilustra marea diversitate a folosirii amplificatoarelor rotative, se dă mai jos o listă a principalelor procese de fabricație și a instalațiilor în care au fost aplicate pînă în prezent cele patru construcții de mașini amplificatoare descrise în această lucrare.

AMPLIDINA

(singură sau împreună cu aparataj electronic)

Laminoare pentru fier, oțel și metale neferoase

Reglajul vitezei, accelerației, efortului de întindere, calibrarea benzii etc.

Mașini pentru fabricarea hîrtiei

Reglajul vitezei, accelerației și efortului de întindere.

Mine

Reglarea troliilor de curent continuu cu grup Ward-Leonard. Comanda frînării dinamice a troliilor de curent alternativ.

Industria chimică

Reglajul curentului în procesele electrolitice.

Instalații electrice

Reglarea automată a tensiunii turbogeneratoarelor, hidrogeneratoarelor și a compensatoarelor sincrone.
Reglarea automată a factorului de putere al motoarelor sincrone.

Marină

Reglajul mașinilor principale de propulsie electrică.
Reglajul automat al tensiunii grupurilor generatoare auxiliare.

Radiolocație

Telecomanda de poziție a antenelor, exploratoarele etc.

Cuptoare electrice cu arc.

Reglarea automată a poziției electrozilor.

Diverse

Telecomanda de poziție a barelor de comandă ale reactoarelor atomice.
Reglarea curentului electromagneților pentru ciclotroane etc.
Comanda instalațiilor de încercări de înaltă tensiune.

Scanned with OKEN Scanner

Comanda acționării mașinilor unelte.
Comanda mișcărilor draglinelor mobile, descărcătoarelor de minereu etc.

Învățămînt și cercetări

Amplidinele au fost furnizate multor universități și institute tehnice pentru studiu și experimente asupra caracteristicilor mașinii cu cîmp transversal și a sistemelor de comandă cu circuit închis. Pentru acest scop, s-a dat o deosebită atenție celor mai cerute caracteristici ale unei amplidine și s-a realizat o dimensionare specială.

Bibliografie

1. BARWICK, E. C. „The Amplidyne". *BTH Activities*, aprilie 1946, 19 Nr. 2.
2. POOL, W. J. „Aplications of the Amplidyne". *BTH Activities* iulie—septembrie 1946, 19 Nr. 3.
3. ADKINS, B. „Amplidyne Regulating Systems", *Journal I.E.E.* 1947, 94, part. 2 A.
4. SPENCE, W. „Amplidyne Control of Synchronous Motor Excitation". *BTH Activities*, octombrie 1947, 19 Nr. 8.
5. SPENCE, W. „Amplidyne Control of Tension in the Metal Industries". *BTH Activities*, noiembrie-decembrie 1949, 20 Nr. 6.
6. GUNTON, F. D. și SPENCE, W. „Amplidyne Electrode Control for Arc Furnace". *BTH Activities*, mai-iunie, 1950, 21 Nr. 3.

METADINA

Generatorul metadină poate fi utilizat ca:

(I) Sursă de putere de ieșire pentru reglarea:
1) tensiunilor electrice;
2) a vitezei;
3) a poziției;
4) a curentului;
5) a cuplului;
6) a efortului de întindere.

(II) Excitatoare pentru un generator sau motor mare în:
1) sistemele cu tensiune constantă;
2) sistemele cu tensiune variabilă;
3) sistemele cu curent constant;
4) sistemele cu curent reglat.

În legătura cu aliniatul (I) sînt multe aplicații la mecanismele de înaltă precizie, în special pentru servicile armatei; de exemplu comanda tunurilor, a antenelor de radiolocație și a altor aparate de comandă a focului.

Aplicațiile industriale cuprind:

Comanda poziției electrozilor de cărbune în cuptoarele cu arc.

Scanned with OKEN Scanner

Comanda vitezei mașinilor de vopsit și lăcuit.
Comanda laminoarelor pentru foi foarte subțiri.

La aliniatul (II) sînt multe aplicații industriale:

Industria oțelului

Reglarea vitezei laminoarelor în tandem
Reglarea vitezei mașinii de înfășurare.
Reglarea tracțiunii laminorului și mașinii de desfășurat
Comanda foarfecelor volante
Comanda ghidajelor laminoarelor la cald
Comanda șuruburilor de reglare la laminoare
Comanda transfercarelor
Comanda instalațiilor auxiliare ale laminoarelor
Comanda schipurilor furnalelor

Marină

Propulsia cu curent constant
Comanda vinciurilor cu tracțiune constantă

Mine

Comanda mașinii de extracție Ward Leonard

Instalații energetice

Reglajul alternatorului
Reglajul conpensatorului sincron

Diverse

Echipament de foraj al sondelor de petrol
Comanda macaralelor
Tunele aerodinamice
Tracțiune

Bibliografie

1. D. C. Machines for Control, A. Tustin (Spon, 1952).
2. The Servo-mechanisms Convention. *J.I.E.E.* vol. 94, part. 2 A, 1947, pag. 243, W.E.C. Lampert).
3. The Metadyne Generator in the Service of industry (*Metropolitan-Vickers Gazette*, aprilie—mai, 1949).

MAGNICONUL

Pînă în prezent, magniconul a fost utilizat aproape exclusiv pentru reglarea tensiunii la generatoarele de curent alternativ și curent continuu. Totuși, domeniul de utilizare, comun, într-o oarecare măsură, tuturor amplificatoarelor de acest tip este mult mai larg și anume:

Reglarea tensiunii de ieșire a alternatoarelor (înlocuiește echipamentul de reglaj automat al tensiunii).
Reglarea tensiunii de ieșire a generatoarelor de curent continuu.
Reglarea automată a vitezei motoarelor de curent continuu.
Menținerea constantă a cuplului sau a puterii motorului de curent continuu.

Lista de mai sus poate fi extinsă însă foarte mult atingînd aproape toate aplicațiile industriale unde puterea de acționare este furnizată de un motor de curent continuu, cum ar fi dispozitivele de tensionare în mașinile textile și comanda de poziție a operațiilor cu repetiție. Fiecare aplicație în

parte și instalația asociată ei trebuie să fie special proiectată pentru a se încadra în limitele impuse de performanțele cerute. Experiența și cerințele individuale determină condițiile în care folosirea unui amplificator de bază cum este magniconul, ar putea fi avantajoasă.

MAGNAVOLTUL

Dintre aplicațiile magnavoltului menționăm următoarele:

Încercarea motoarelor de aviație

Comanda cuplului și a vitezei unui dinamometru pentru încercarea motoarelor de avion (La acest fel de echipament de încercare, cuplul este proporțional cu patratul vitezei).

Laminoare

Comanda tracțiunii la mașina de înfășurat banda laminată la rece (oțel și neferoase).

Comanda vitezei fiecărei caje dintr-un laminor trio la rece, se realizează cu ajutorul magnavoltului, menținîndu-le în sincronism.

Utilizarea împreună cu echipament electronic la comanda foarfecii volante pentru bandă la cald.

Fabricația țevilor

Reglarea vitezei unui laminor de țevi, cu limitarea curentului de ambalare.

Cuptoare cu arc electric

Furnizează putere constantă arcului într-un cuptor cu arc.

Încercări și învățămînt

Magnavolturi au fost furnizate multor universități pentru studiul reglajului în circuit închis.

Bibliografie

1. BINNEY, E. A. „The Magnavolt Exciter — A Rotating Amplifier". *English Electric Journal*, martie 1950, 11, Nr. 3, 71.
2 ASBURY A. „The Application of the Magnavolt". *English Electric Journal*. martie 1950, 11, Nr. 3, 76.

Scanned with OKEN Scanner

INDEX ALFABETIC

A

Abatere (terminologie) 110
Ajustarea periilor 57, 64. 81
Amplidina şi Metadina,
— — aplicaţii 136, 153
— — bobinaje de comandă 29, 42
— — bobinaje de compensare 17
— — bobinaje statorice 31, 39
— — bobinaj transversal 31
— — caracteristica de mers în gol 34
— — caracteristici de funcţionare 51
— — constante de timp 24, 27, 29, 33, 52
— — construcţie şi caracteristici 36—56
— — dimensiuni şi puteri 52
— — efectul saturaţiei 33
— — factorul de amplificare în putere 18
— — fenomenul de histerezis 48
— — funcţia de transfer 25
— — generator fără reacţie 108
— — indus 43
— — încercări 56—61
— — întrefier 39
— — întreţinerea 63, 64
Amplidina şi metadina, miezul şi carcasa statorului 36
— — regim tranzitoriu 20
— — poli auxiliari 32
— — portperii 43
— — rezistenţa de şuntare 45
— — rezistenţă transversală 32, 47
— — utilizarea în reglajul de tensiune 140
— — utilizarea în sisteme de reglare cu circuit închis 108
Amplificarea,
— şi constantele de timp 33
— factorul de amplificare în putere 18
— factorul de amplificare şi constantele de timp 24
— reacţia de amplificare la magnavolt, 96
Amplificatoare dinamo-electrice 18
— magnetice 135
— magnetice, aplicaţii 135, 153
— magnetice, comparaţie cu alte tipuri de amplificatoare 135
Ansamblul bobinelor la magnicon 77
Aplicaţiile amplificatoarelor rotative 135, 153
Axa neutră magnetică 59

B

Bobinaje statorice ale amplidinei 39
— de comandă 15
— de comandă la amplidină 29, 42

Bobinaje de comandă suplimentare 29,
— , încercări 60
— de compensare 17, 70
— de compundare serie 31
— — excitaţie la amplidină 29 42
— — — la magnavolt 89
— — — la magnicon 65
— transversale 31
Bobinaj de demagnetizare 50
Bobinarea şi izolarea statorului amplidinei 43
British Thomson-Houston Co. Ltd., 36, 41, 48, 54, 56, 107, 135

C

Căderea de tensiune în sarcină, încercarea la magnavolt 104
Caracteristică de curent constant 19
— de mers în gol a amplidinei 34
— de tensiune constantă 18
Caracteristica externă a amplidinei 49
Caracteristicile în regim permanent 18
Cauchy-Heaviside, procedeul 114
Circuite de stabilizare 126
— — — la capătul de intrare 127
Comanda prin două circuite a magniconului 76
Componentele fluxului 12
Comutaţia
— la amplidină 45
— la magnavolt 94
— la magnicon 75
Constante de timp,
— — —, factor de amplificare şi constante de timp 24
— — —, încercări oscilografice pentru măsurarea constantelor de timp 62
— — —, la amplidină şi metadină 52
Construcţia,
— amplidinei şi metadinei 36
— magnavoltului 89
— magniconului 65
Corector de histerezis 51
Curba de magnetizare 14
Curbele de magnetizare ale amplidinei 49
Curbe de răspuns 26
Curenţi turbionari, efectul 34

D

Decalarea periilor 32
Diagrame polare 28
Dinte de referinţă înserat la magnicon 65, 67
Duritatea periilor, alegere 45

E

Ecuaţiile generatorului cu cîmp transversal 20, 22
Efectul saturaţei 33
Elemente amplificatoare 104, 112
— de ieşire 112
— de măsurare 111
Elementele sistemelor de reglare 111
English Electric Co. Ltd., 89, 98, 100
Excitatoare magnavolt 98

F

Factorul de amplificare în putere 18
— — — în tensiune 15
Fluxuri de comandă la magnicon 75, 77
Funcţia salt unitar a lui Heaviside 25, 61
— de transfer a amplidinei 25
Funcţionarea,
— amplidinei 45
— generatorului cu cîmp transversal compensat 17
— magnavoltului 89
— magniconului 69

G

General Electric Co. of America 8
Generator cu cîmp transversal, compensat 17
— — —, transversal, necompensat 15

Generator cu cîmp transversal, bobinaje de comandă 29
— — — —, bobinaje de compundare serie 31
, bobinaje transversale 31
— — — —, caracteristici de regim permanent 18
— — — —, componentele fluxului 12
— —, constanta de timp 24
— —, curenții din indus 12
— — — —, ecuațiile generatorului cu cîmp transversal, subcompensat 22
— — —, ecuațiile generatorului cu cîmp transversal, total compensat 20
— — — —, efectul curenților turbionari 34
— — — —, efectul decalării periilor 32
— — — —, efectul saturației 33
— — — —, factorul de amplificare și constantele de timp 24
— — — —, funcționarea generatorului cu cîmp transversal, compensat 17
— — — —, funcționarea generatorului cu cîmp transversal, necompensat 15
— — — —, funcționarea în regim tranzitoriu 20
Generator cu cîmp transversal, principii de funcționare 11
— — — —, răspunsul la o tensiune de intrare salt unitar 25
— —, răspunsul la o tensiune de intrare sinusoidală 27
— — — —, teoria 11—35
— de curent continuu în cascadă 70
Generator magnicon de tensiune constantă 80
— Rosenberg pentru iluminatul trenurilor 8
Grupuri de unități multiple 54

H

Histerezis, efectul 48

I

Incercarea,
—, amplidinei și metadinei 56
— magnavoltului 100
— magnicnului 81
— alternatorului excitat cu magnicon 82
Incercările amplidinei și metadinei,
— — — —, ajustarea și ridicarea caracteristicilor 60
— — — —, bobinajele de comandă suplimentare 60
— — — —, determinarea axei neutre magnetice 59
— — — —, impedanța 58
— — — —, încercări normalizate 58
— — — —, încercări speciale 61
— — — —, izolație 61
— — — —, rezistența bobinajelor 58
Incercările mașinilor subcompensate 62

Incercările pierderilor în miez 61
— de sensibilitate a magnavoltului 106
Incercări oscilografice 61
— de survoltare-devoltare 61
Indus,
— curenți din 12
— de amplidină și metadină 43
— de magnavolt 98
— de magnicon 66, 67
— , reacția indusului la magnicon 71
Instalarea mașinilor cu cîmp transversal 63
Intîrziere (terminologie) 111
Intrefier 39
Intreținerea,
— amplidinei și metadinei 63, 64
— magnavoltului 106
— magniconului 87

L

Limitator „metrosil" 48
Locul Nyquist 29

M

Macfarlane Engineering Co. Ltd., 65
Magnavolt,
— , aplicații 156
— , comutație 94
— , construcție 89
— cu sistem bi- și tetrapolar 92
— cu trei etaje 99, 105
— cu două etaje 91, 102
— cu un singur etaj 89, 100
— , încercarea 94
— , — căderii de tensiune în sarcină 104
— , — sensibilității, 106
— , indus 98
— , întreținere 106
— , performanțe 91
— , poli auxiliari 95
— , principiul de funcționare 90
— , reacție de amplificare și răspuns 96
— , sensibilitatea 94
Magnavolt, viteza de răspuns 94
Magniconul,
— , amplificarea etajului întîi și al doilea 72
— , amplificator în sarcină 73
— , aplicații 149, 155
— , comandă prin două circuite 76
— , comandă în circuit închis 76
— , comutație 75
— , construcție 65
— , cu ventilator 66, 67
— , dimensiuni și puteri nominale 87
— , fluxuri de comandă 75, 77
— , încercări 81
— , indusul 67
— , întreținerea 87
— , principiul de funcționare 69
— , reacția indusului 71
— , regimul tranzitoriu 78
— , reglaj de viteză constantă 149
— , stator 66
Magslip 122, 147
Mărime de ieșire 110
Mărime de intrare 110
Măsurări de impedanță la generatoarele cu cîmp transversal 58
— de rezistență la generatoarele cu cîmp transversal 58
Mers pentru încălzire 61
Metadina (v. amplidina și metadina)
Metropolitan-Vickers Electrical Co. Ltd., 30, 40
Morganite 45

O

Oscilații 111
Oscilograme asupra magniconului 84

P

Poli auxiliari 37, 95
Portperii 43, 60
Portperie în consolă 44
Principiile sistemelor de reglare automată 107

Scanned with OKEN Scanner

R

Răspunsul la o tensiune de intrare sinusoidală 27
— magnavoltului 94
Reacție, 107
Reacție, cu transformator 132
Reacția de curent 20
— , generator amplidină fără reacție 108
— la magnavolt 96
— , stabilizarea prin 129
— (terminologie) 110
— , transformator de 133
Reactoare cu saturație 135
Regim tranzitoriu,
— — , funcționarea generatoarelor cu cîmp transversal 20
— — , funcționarea magniconului 78, 83, 84
— — , răspunsul tranzitoriu al amplidinei 117
Reglaj de efort de întindere cu
— — amplidină 136
— frecvență 149
— — tensiune constantă 10
— — viteză constantă, cu magnicon 149
Reglare continuă 110
Regulator de procese de fabricație 110
— automat de tensiune 110, 140
— , terminologie 110
— , utilizarea amplidinei 108
Reprezentarea amplidinei ca două generatoare de c.c. 24
Rezistență balast 33
— transversală 32

S

Sarcină,
— , amplificatorul magnicon în 73
— , caracteristica de magnicon (externă) 19
— , decalarea periilor de magnicon 46
Sarcină, poli auxiliari de sarcină la amplidină 37
Servomecanism 110
Servosisteme,
— , elemente principale 111
Selsin 122
Sisteme de reglare automată 107
— — — — , principii 107
Sistem de reglare a tensiuni 140
— — — — — funcționarea 142
Sistem de reglare cu circuit deschis 108
— — — — — închis 109
— — — metoda analitică de studii 113
da analitică de studiu 113
— survoltor-devoltor 95, 104
— de telecomandă de poziție 123, 145
— Ward-Leonard 46
Sisteme de reglare, teoria 112
— , utilizarea amplidinei și metadnei 108, 129
— — magniconului 76
Stabilitate, (terminologie) 111
Stator,
— , bobinaje statorice ale amplidinei 39
— , bobinele statorice și rotorice ale magniconului 68
— , miezul și carcasa statorului amplidinei 36
— , magniconului 66
— , tolă stanțată pentru magnicon 65

T

Terminologie 109
Tensiune salt unitar 25
Tiratron 136
Transformarea Laplace 114

U

Utilizarea rezistenței de șuntare 45

V

Ventilația magniconului 67
Viteza mașinilor cu cîmp transversal 52

Wellman-Bibby, cuplaje 55

TABLA DE MATERII

INTRODUCERE 7

1. TEORIA GENERATORULUI CU CÎMP TRANSVERSAL
— *B. ADKIUS, M.A., M.I.E.E., A.M.I.C.E.* 11

2. CONSTRUCȚIA ȘI CARACTERISTICILE AMPLIDINEI ȘI METADINEI
— *K. F. RABY, M.A.* 36

3. ÎNCERCAREA ȘI ÎNTREȚINEREA AMPLIDINEI ȘI METADINEI
— *K. F. RABY, M.A.* 56

4. MAGNICONUL
— *A. W. BLACKHURST* 65

5. CONSTRUCȚIA ȘI FUNCȚIONAREA MAGNAVOLTULUI
— *E. A. BINNEY* 89

6. ÎNCERCAREA ȘI ÎNTREȚINEREA MAGNAVOLTULUI
— *E. A. BINNEY* 100

7. PRINCIPIILE SISTEMELOR DE REGLARE AUTOMATĂ
— *A. L. WHITELEY D. SC., M.I.E.E.* 107

8. APLICAȚIILE AMPLIFICATOARELOR ROTATIVE
— *A. L. WHITELEY D. SC., M.I.E.E.* 135

ANEXĂ: APLICAȚIILE AMPLIFICATOARELOR ROTATIVE 153
INDEX ALFABETIC 157

Controlul științific al traducerii: ing. Șofan Eugen,
candidat în științe tehnice

Responsabil de carte: ing. Zaliș Al.
Tehnoredactor: Negreanu B.
Corector responsabil: Ianculescu M.

Dat la cules: 15. 06. 1958. Bun de tipar: 27. 07. 1958. Hîrtie: semivelină de 65 g. m², 61×86/16. Coli editoriale: 9,26. Coli de tipar: 10,25. Comanda: T. 4517. A.: 6032; E.: 17015. Indicele de clasificare pentru bibliotecile mari: 621.396.645.1. Indicele de clasificare pentru bibliotecile mici 621.

Tiparul executat la Întreprinderea Poligrafică Oradea,
str. Moscovei 5—6—8. — R.P.R.

Scanned with OKEN Scanner

ERATA

Pag.	Rînd	În loc de	Se va citi	Din vina
47	11 s	$1{,}25 + 2\,\%$	$1{,}25 \div 2\%$	Tipografiei
122	13 j	edalitate	egalitate	Tipografiei
123	11 j	$\frac{e\,\theta_0}{dt}$	$\frac{d\,\theta_0}{dt}$	Editurii
128	form. (27)	$e_L = \frac{(\ )}{(\ )} \cdot \frac{(\ )}{(\ )} - \frac{(\ )}{(\ )}$	$e_L = \frac{(\ )}{(\ )} \cdot \frac{(\ )}{(\ )} \cdot \frac{(\ )}{(\ )}$	Tipografiei

Amplificatoare rotative

In preajma redeschiderii Teatrului Muncitoresc C.F.R.

S-A SCHIMBAT FAȚA TEATRULUI

In tot cursul semestrului II al anului 1958, sala și scena Teatrului Muncitoresc C.F.R. au trecut printr-un proces de transformare. Printre cele mai importante realizări menționăm construirea cabinelor de la balcon de unde vor fi manevrate proiecțiile și sonorizarea, și unde vor fi instalate proiectoare puternice. Sala, pe lîngă un aspect nou, a căpătat și o acustică perfectă, iar sub rampa scenei s-a construit o cabină în care s-a montat tabloul general electric și de unde se va dirija întreaga aparatură mecanică și electrică a scenei. La fel sînt în stadiu de finisare instalarea turnantei, arlehinilor, pasarelei și cortinei — toate din metal, astfel că în curînd Întreprinderea de construcții și instalații a C.F.R., care efectuează lucrările, va pune la dispoziția teatrului un local în care munca se va desfășura în condiții tehnice superioare. Merită amintit aci și aportul corpului de tehnicieni al teatrului, care a stat la dispoziția constructorilor tot timpul, contribuind la urgentarea efectuării lucrărilor.

ACTIVITATEA ARTISTICĂ ESTE LA FEL DE INTENSĂ

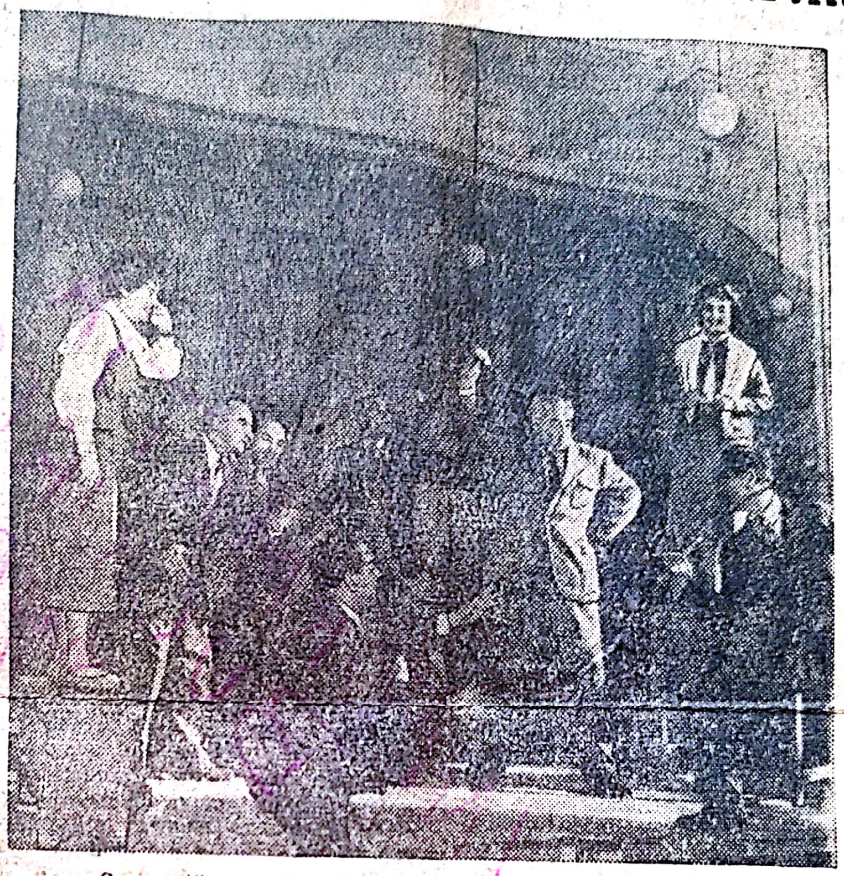
Cu aceste cuvinte ne-a întîmpinat tovarășa Elena Deleanu, directoarea teatrului.

In timp ce la sediu se efectuau transformările amintite, munca artistică nu s-a oprit. La începutul stagiunii 1958—1959, conducerea teatrului, cu sprijinul organizației de partid și a comitetului de instituție, a organizat un turneu în țară pe o perioadă de 60 de zile cu piesele „Răzeșii lui Bogdan" de Ernest Maftet și „Într-un ceas bun" de Victor Rozov.

— Condițiile de muncă au fost foarte grele — adaugă directoarea. Repetițiile se făceau prin birouri, prin sala de balet și în ultimă fază în sala de teatru a Palatului C.F.R.

Toluși la data fixată s-a pornit la drum. Timp de două luni — octombrie și noiembrie — au fost vizitate orașe mari și mici, tîrguri și centre muncitorești, unde spectacolele s-au bucurat de un frumos succes.

La întoarcerea în Capitală s-a întocmit un plan vast de prezentări prin diferite săli din București și regiune. Astfel, piesele „Răzeșii lui Bogdan", „Într-un ceas bun" și „Domnișoara Nastasia" au fost prezentate pe scena sălii Studio a Teatrului Național „I. L. Caragiale", la Casa de cultură a studenților, la clubul Finanțe Bănci, la Casa de cultură „Gh. Gheorghiu-Dej" din Grozăvești, la clubul Atelierelor „C. David" din șoseaua Giulești, în sala de spectacole a Monetăriei etc., iar prin regiune, în comunele Buftea, Răcari și alte localități.



Se repetă comedia „Nevestele vesele din Windsor"

Paralel cu munca depusă în teatru, un număr de actori au avut și activitate obștească. Ei au făcut instructaj artistic pe timp de o lună la diferite cămine culturale din regiune. Printre aceștia se numără actorii I. A. Manolescu, Dodi Caian, Alexandru Azoiței, Mircea Dumitru, Cecilia Teodoru, Sergiu Demetriad și alții. Ei au pregătit spectacole de brigadă și piese de teatru cu formațiile de actori amatori din căminele culturale respective.

★

Peste tot animație. In scenă, aparatele de sudură fac ultimele lipituri, alături, în sala de balet, actorii repetă intens, iar atelierele sînt într-o continuă activitate. Se observă febrilitatea specifică din ajunul unei premiere.

— Deși mai trecem încă prin greutăți, asta nu ne-a împiedicat să pornim cu trei piese în repetiție. Dintre ele însă am dat prioritate comediei lui Shakespeare „Nevestele vesele din Windsor" — care se repetă în regia lui George Dem. Loghin, maestru e-

---

Rezerve interne în alimentația publică ce se cer valorificate

PRODUCȚIA PROPRIE

(Urmare din pag. I-a)

„Jariștea", „Fălticeni" — procentul producției proprii fiind sub 10 la sută din volumul total al vînzărilor. Această situație se explică atît prin atitudinea responsabililor de unități, care nu dau comenzi bucătăriilor și laboratorului central, cît și bucătarilor, care nu se străduiesc să prepare un număr cît mai mare de sortimente.

Volumul redus al producției proprii, pe lîngă faptul că menține productivitatea muncii la un nivel scăzut, duce și la nefolosirea utilajelor din unități. Majoritatea unităților au fost dotate cu vitrine și camere frigorifere, mașini aragaz, mașini de curățat car-

tul hotărîtor în atragerea de noi consumatori este pregătirea și punerea în vînzare a unor mîncăruri de bună calitate, continua lărgire a sortimentului. In această privință este recomandabil ca trusturile să fixeze, pe baza sortimentului minimal existent pentru toate unitățile de alimentație publică, în raport cu specificul fiecărei unități, un sortiment minimal obligatoriu de gustări reci și calde, de mîncăruri pentru felul I, II și III, de băuturi, de produse de panificație și cofetărie etc. Pentru restaurantele situate în cartiere muncitorești, munca pentru îndeplinirea și depășirea planului de desfacere nu trebuie să se

Intre documentele Unirii

În cinstea Centenarului Unirii, la Direcţia generală a Arhivelor Statului din Bucureşti se va deschide o expoziţie de documente. În sala muzeului Arhivelor Statului, expoziţia abia se înfiripă. Cu ajutorul lămuririlor primite de la organizatori vom încerca totuşi să v-o prezentăm.

Primele panouri urmăresc apariţia şi dezvoltarea conştiinţei unităţii naţionale începînd încă la vechii cronicari ai Ţărilor Romîne: Miron Costin, marele cărturar al Moldovei, proclamă printre primii adevărul că „Moldovenii, Muntenii şi Ardelenii, toţi de-un neam sînt, rominesc" şi că alcătuiesc deci una şi aceeaşi unitate naţională. Ideea Unirii, reluată în toiul mişcării lui Tudor, menţionată în paragrafele Regulamentului Organic, se dezvoltă în întreaga ei amploare în epoca pregătirii şi săvîrşirii revoluţiei de la 1848.

„TRAIASCA UNIREA!"

Un calendar tipărit de către George Ioanid în anul 1857, la Bucureşti, reflectă atmosfera în care se pregătea marea Unire a Ţărilor Romîne. Almanahul are ca supliment o stampă pliantă care reprezintă încheierea Păcii de la Paris, şi un bogat capitol de versuri patriotice din care extragem:

Piară luxul şi mîndria
Răul tipicios
Piară fumul şi prostia
Lucrul urîcios
Limba noastră să trăiască
Limba ce iubim
Şi unirea românească
Ce toţi o dorim

Dar să trecem mai departe către panoul divanurilor ad-hoc. Iată aici, într-o fotografie, deputaţii ţărani din Moldova, printre care, cu cuşma dată pe-o ureche, vestitul moş Ion Roată. Şi ceva mai departe, jurnalul adunării divanului ad-hoc al Moldovei în care se cere Unirea, încheiat la 7 octombrie 1857, cu semnăturile deputaţilor, printre care şi ştampilele clăcaşilor neştiutori de carte.

Ne emoţionează o imagine din Focşanii acelei vremi: graniţa despărţind la Mănăstirea Sfîntu Ioan, în mijlocul oraşului, tîrgul şi ţara în două. Dar cuvîntul maselor populare a secat dintr-o sorbire apa firavă a Milcovului. Telegrama circulară emisă la Iaşi care grăieşte: „Adunarea Naţională a ales astăzi la 5 ianuarie cu unanimitatea voturilor de 48, domn al Ţării Moldovei pe colonelul Alexandru Cuza" stă alături de proclamaţia dată la Bucureşti de Nicolae Golescu la 30 ianuarie: „Acesta este domnul ce peste patru zile o să păşească peste Milcov fără ca acest pîriu să mai fie o barieră ce despărţea o singură ţară în două trunchiuri. Să-l primim dar cu entuziasmul ce ne aprindea cînd l-am ales". Şi deasupra, pictura lui Aman „Proclamarea Unirii" evocă solemn clipa măreaţă, de neuitat, cînd năzuinţe de decenii şi decenii prindeau să se împlinească.

Iată una din primele circulare ale Ţărilor Romîne Unite: „Principatele Unite ale Moldovei şi Ţării Romîneşti. Ministerul din năuntru al Ţării Romîneşti. Onor obştească adunare electivă constituită la 24 ale lunii ianuarie curent a şi ales prin toate formele legale prevăzute de convenţie, în unanimitatea voturilor, domn stăpînitor al Ţării Romîneşti pe înălţimea sa Alecsandru Ioan, domnul Moldovei. Această alegere a fost aclamată de naţiune şi oştire".

Ţara avea încă două guverne, dar armata se unea sub un singur steag. O stampă veche ne redă momentul emoţionant al întîlnirii oştirii steagului lui Ştefan cel Mare cu cea de sub steagul lui Mihai Viteazul. Se îmbinau sub tricolorul Romîniei, două istorii de luptă crîncenă dusă de popor pentru libertate.

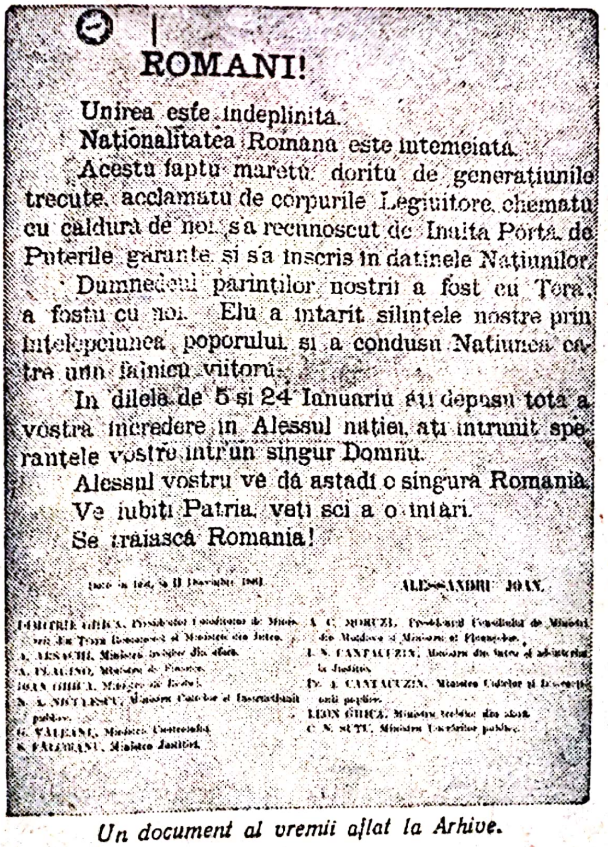
MĂRTURII

Elementele mai avansate ale burgheziei se pregăteau să treacă la transformările democratice impuse de presiunea maselor. La 24 ianuarie 1862 a fost citit în Cameră un mesaj domnesc în care se anunţau principalele reforme ce trebuiau îndeplinite pentru desăvîrşirea Unirii, între care şi „legea agrară". Deşi reformele preconizate aveau un caracter limitat, satisfăcînd năzuinţele maselor doar în măsură redusă, ele au întîmpinat rezistenţa îndîrjită a boierimii aliate cu cea mai mare parte a burgheziei. „Drept răsplată pentru devotamentul său către cauza naţională, alesul romînilor n-a găsit decît ultragiul şi calomnia; şi cu toată înţelepciunea unui număr de deputaţi, o oligarhie tulburătoare a ştiut să împiedice necontenit stăruinţele mele pentru binele public şi a redus guvernul meu la neputinţă" scria domnul, în proclamaţia în care explica poporului pricinele care l-au determinat să dizolve Camera şi să recurgă la o lovitură de stat.

Iată un afiş îngălbenit de vreme, cu principalele reforme ale lui Cuza. Păstrat ca prin minune, afişul a fost descoperit în arhiva unei comune din Vrancea. Dar moşierimea şi burghezia reacţionară s-au răzbunat crunt pe Cuza şi Kogălniceanu. În muzeu se află expus actul de abdicare, pe care, sub ameninţarea complotiştilor, domnul a fost silit să-şi pună o semnătură strangulată de emoţie şi amărăciune. O litografie cu portretele complotiştilor aduce încă o dată la stîlpul infamiei, pe politicienii burgheziei reacţionare, demagogi care-şi spuneau radicali şi n-aveau altă preocupare decît a împiedica progresul ţării. Printre ei, sînt figurile odioase ale întemeietorului „dinastiei" Brătienilor, trădătorul de la 1848, I. C. Brătianu, Mitiţă Sturdza, cel care mai tîrziu avea să devină sfetnicul lui Carol de Hohenzollern, şi alţi „liberali" care-şi deschideau astfel cariera politică.

Aşa a început lunga epocă de trădare naţională, lungul şir de decenii al domniei sîngeroase şi de jaf a Hohenzollernilor. Mai tîrziu steagul independenţei naţionale, al libertăţilor şi drepturilor democratice a fost ridicat de singura clasă revoluţionară pînă la capăt şi exponentă a adevăratelor interese ale poporului, de clasa muncitoare sub conducerea partidului ei de avangardă. Documentele Unirii se înşiră înaintea privirilor noastre, astăzi la o sută de ani de-atunci. Sub ochii noştri istoria îşi tălmăceşte înţelesurile.

T. CARANFIL



ROMANI!

Unirea este indeplinita.

Nationalitatea Romana este intemeiata.

Acestu faptu maretu doritu de generatiunile trecute, acclamatu de corpurile Legiuitore chiamatu cu caldura de noi, sa recunoscut de Inalta Porta, de Puterile garante si sa inscris in datinele Natiunilor.

Dumnedeul parintilor nostri a fost cu Tera, a fostu cu noi. Elu a intaritu silintele nostre prin intelepciunea poporului si a conducu Natiunea catre unu fainicu viitoru.

In dilele de 5 si 24 Ianuariu ati depusu tota a vostra incredere in Alessul natiei, ati intrunit sperantele vostre intr'un singur Domnu.

Alessul vostru ve da astadi o singura Romania.

Ve iubiti Patria, veti sci a o intari.

Se traiasca Romania!

Iassi la 24, 25 Ianuariu 1861.

ALEXANDRU JOAN.

Un document al vremii aflat la Arhive.

Scanned with OKEN Scanner